TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

7

PROGRES TEHNIC

- CONCEPTE ȘI STRATEGII
  Ingineria progresului tehnic
  Conducerea sistemelor de fabricație
- MODERNIZAREA FABRICAȚIEI ȘI PRODUSELOR
  Depunerea materialelor prin pulverizare termică
  Trasarea curbelor lichidus cu calculatorul
- MAȘINI, UTILAJE, SDV-uri. PROIECTARE, CONSTRUCȚIE, TIPIZARE
  Dinamica sistemelor de imprimare
  Arcuri lamelare parabolice
  Scule abrazive pentru detalonarea frezelor-melc
  Proiectarea angrenajelor cu număr mic de dinți
- MATERIALE. UTILIZARE, REFOLOSIRE, ÎNLOCUITORI
  Echivalența oțelurilor crom-molibden
  Materiale și tehnologii avansate
  Transmiterea informației prin fibre optice
  Determinarea prelucrabilității materialelor metalice
- TEHNOLOGII DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ
  Depunerea cromului electrolitic
  Scule ceramice pentru prelucrarea lemnului
  Fonte de calitate din materiale recuperate
- INGINERIA CALITĂȚII. FIABILITATE
  Creșterea rezistenței la uzare
  Omologarea proceselor tehnologice
- ACTUALITĂȚI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE

TM
CM

Scanned with OKEN Scanner

TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

7

EDITURA TEHNICA
București 1990

Scanned with OKEN Scanner

Autorii materialelor publicate în acest număr:

DUMITRU MOCANU
EMIL SPIREA
TRAIAN DEMIAN
CONSTANTIN NIȚU
SMARANDA NIȚU
ALEXANDRU NICA
GHEORGHE MANEA
VIRGIL MOLDOVAN
MOISE ȚUȚUREA
CSABA GYENGE
VASILE MERTICARU
VIRGIL ATANASIU
GABRIEL NĂTASE
RADU NEGRIU
ION RADU
VALENTIN TOMESCU
ALECSANDRU PAVEL
DOLPHI DRIMER
CORNEL VLAD
MIHAI TEODORESCU
NICULAE NICULESCU
LADISLAU MARTON
TIBERIU CODILEAN
VIOREL VODĂ
MIHAIELA ISAC
MARIANA CĂLIN
VIOREL OLTEAN
CORNEL ȘANDOR
MIHAI GODEANU
V. E. MORAR
A. S. CIOBANU
A. T. CRĂCIUN

Colectivul de redacție:
VASILE BUZATU (red. coord.)
MARIA ANTOINETTE IONESCU
PAUL IORDĂNESCU
NICOLAE VOICU

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Cuprins

I. **Concepte şi strategie de modernizare a producţiei** 5

1. Ingineria progresului tehnic (Niculae Niculescu) 6
2. Conducerea strategică şi evoluţia sistemelor de fabricaţie (Gheorghe Manea) 24

II. **Modernizarea fabricaţiei şi produselor** 31

3. Depunerea materialelor prin pulverizare termică (Valentin Tomescu) .. 32
4. Utilizarea calculatorului electronic la trasarea curbelor lichidus pentru aliaje ternare cu ajutor (Mihaiela Isac, Mariana Călin, Viorel Oltean, Cornel Şandor, Mihai Godeanu) 49

III. **Maşini, utilaje, SDV-uri, proiectare, construcţie, tipizare** 53

5. Dinamica sistemelor de imprimare prin impact şi implicaţiile ei constructive (Traian Demian, Constantin Niţu, Smaranda Niţu) 54
6. Arcuri lamelare parabolice. Necesitate, realizări, perspective (Virgil Moldovan, Moise Ţuţurea) 70
7. Determinarea profilului sculelor abrazive la detalonarea radială a frezelor-melc (Csaba Gyenge) 92
8. Proiectarea angrenajelor cilindrice cu număr mic de dinţi (Vasile Merticaru, Virgil Atanasiu) 116

IV. **Materiale. Utilizare, refolosire, înlocuitori** 127

9. Criterii de echivalenţă privind oţelurile crom-molibden de tip 1,0—0,5 folosite în construcţia de aparatură tehnologică (Alecsandru Pavel) ... 128
10. Extinderea utilizării materialelor şi tehnologiilor avansate (Alexandru Nica) 146
11. Transmiterea informaţiei prin fibre optice, domeniu cu multiple aplicaţii şi largi perspective (Dolphi Drimer, Cornel Vlad) 157
12. Determinarea prelucrabilităţii prin deformare plastică la rece a materialelor metalice (Mihai Teodorescu) 170

V. **Tehnologii de mare eficienţă economică** 179

13. Procedeu şi instalaţie pentru depunerea cromului electrolitic (Gabriel Năstase) 180
14. Scule aşchietoare cu plăcuţe ceramice pentru prelucrarea lemnului (Radu Negriu, Ion Radu) 185
15. Fonte de calitate elaborate cu materiale recuperate (Ladislau Marton, Tiberiu Codilean) 200

VI. **Ingineria calității. Fiabilitate** 215
16. Creșterea rezistenței la uzare a părților în lucru ale matrițelor cu suprafață de separație (V. E. Morar, A. S. Ciobanu, A. T. Crăciun) 216
17. Omologarea proceselor tehnologice (Viorel Vodă) 221
VII. **Actualități și informații tehnico-științifice** 235
18. Contribuția tensometriei la optimizarea proiectării construcțiilor inginerești din transporturi (Dumitru R. Mocanu, Emil Spirea) 236
19. Scurte informații tehnice 251

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

I

CONCEPTE ȘI STRATEGII DE MODERNIZARE A PRODUCȚIEI

1
Ingineria progresului tehnic

Dr. ing. *Niculae I. Niculescu*

Termenul de INGINERIE are în ultima vreme folosinţe tot mai largi, pentru a defini tehnologia multiplă pe care o incumbă realizarea unor acţiuni complexe. De la aplicaţiile tradiţionale în producţia materială — a se vedea în acest sens descriptorii de inginerie chimică, energetică, alimentară, agricolă şi foarte mulţi alţii — s-a trecut la extensii de tipul ingineriei cunoaşterii, a programării (în sfera programării calculatoarelor), ingineriei sănătăţii, a mediului ambiant, ingineriei sociale.

Epoca contemporană şi specialiştii sînt dominaţi de interesul pentru promovarea progresului, a celui tehnic în primul rînd, ceea ce presupune previzionarea şi organizarea producerii şi folosirii lui şi valorizarea utilităţilor pe care le prezintă. Aceasta se dovedeşte a fi o activitate din ce în ce mai amplă, ce implică resurse variate, ce se cer a fi riguros tehnologicizate pentru a-şi manifesta valoarea. De aici s-a născut ideea EXISTENŢEI UNEI INGINERII A PROGRESULUI. În continuare ne propunem să cercetăm unele elemente ale acesteia şi anume ale *ingineriei progresului tehnic.*

1. Relaţia intimă dintre progresul tehnic şi celelalte forme de progres

PROGRESUL, semnificaţie a evoluţiei de la o formă inferioară la una superioară, se regăseşte în diferitele domenii ale vieţii sociale (economic, tehnico-ştiinţific, cultural etc.) şi ale naturii (flora, fauna, ecosisteme şi altele). Opusul progresului este regresul, care corespunde întoarcerii de la o stare superioară la una inferioară. Poziţia intermediară dintre cele două este stagnarea, starea stabilă, care nu este marcată de progres, de dezvoltare.

Este interesant de remarcat faptul că natura, în întregul ei sau prin macro- şi microsistemele din care este formată, se găseşte într-o neîntreruptă mişcare. Fenomenele decurgînd din aceasta se desfăşoară după legi bine determinate şi generale. Omul, ca parte a Naturii, nu se poate sustrage acestor legi, însă prin inteligenţa sa reuşeşte să le folosească într-o tot mai mare măsură pentru nevoile şi dorinţele sale.

De aceea se poate afirma că societatea umană poartă în structura ei genetică şi preia prin influenţa mediului natural în care se dezvoltă aceeaşi caracteristică *a schimbării continue.* În plus, omul mai mult decît

Scanned with OKEN Scanner

oricare din celelalte viețuitoare, imprimă prin gîndirea și puterea psihicului său direcții noi de evoluție, valorizînd fenomenele din natură și valorificîndu-le creator în interesul său. Asemănător — în mod simbolic — unui planorist care, datorită geniului uman, se folosește de curenți favorabili și de cei nefavorabili pentru a urca, a coborî și a se deplasa, influențînd desfășurarea pentru a-și atinge scopul.

Progresul este un proces care, pentru a fi justificat, trebuie: 1. SĂ DEȚINĂ O VALOARE, deci să posede o utilitate pentru o direcție de întrebuințare, să fie funcțional (lucrativ) pentru aceasta. 2. SĂ FIE VALORIZAT, respectiv valoarea lui să fie cunoscută de producătorul, purtătorul și beneficiarul progresului; determinarea valorii se referă la categoriile și mărimile utilității pentru fiecare din direcțiile de folosință. 3. Pentru a se manifesta, pentru a fi valorificat, PROGRESUL TREBUIE SĂ FIE DORIT, să i se dovedească utilitatea, să fie solicitat, să i se organizeze aplicarea.

Se constată că identificarea, producerea, evaluarea și aplicarea progresului presupune satisfacerea următoarelor condiții: 1. *definirea utilizatorului* și a trebuințelor pe care acesta le are; 2. *caracterizarea progresului*, a valorii pe care el o prezintă pentru utilizator, dar și a valorii induse în alte planuri datorită impactelor pe care le provoacă; 3. *selectarea sau conceperea purtătorului de progres*, a acelor structuri umane, materiale, informaționale etc. care pot ocaziona progresul; valoarea purtătorilor de progres se consumă pentru nevoile proprii și/sau se transferă sistemelor cu care au relații de interdependență (spre care sînt deschise); 4. *valorificarea progresului* se poate face *de la sine* (transferuri automate) *sau prin procese anume concepute* (transferuri organizate); 5. *evaluarea rezultatelor* introducerii progresului servește pentru îmbunătățirea aplicării lui și pentru formularea de noi opțiuni de progres (mai performante și de altă natură etc.). În unele cazuri se schimbă ordinea arătată mai sus (de exemplu succesiunea fazelor poate fi 3, 1, 2, 4, 5).

Însemnătatea și impactele progresului sînt deosebite, de aceea acțiunile legate de acesta nu se pot desfășura oricum.

Imaginarea, producerea și „consumarea" progresului ESTE UN ACT DE MARE RESPONSABILITATE, care implică, sub aspect moral, factorul uman ce-l realizează. Toți membrii societății, dar cu deosebire cei a căror activitate este legată expres de generarea progresului, este necesar *să apeleze la o deontologie specifică* în legătură cu progresul, la o etică adecvată. Acestora li se cere *o etică a aspirației*, a pregnanței opțiunii pentru nou, în concordanță cu avantajele și dezavantajele lui, *o etică a producției progresului*, a condițiilor în care se realizează (de exemplu cu ce riscuri și sacrificii) și la ce valoare se obține, și *o etică a utilizării înnoirilor*, în ce scop, pentru cine, cînd și cum, cu ce rezultate.

PROGRESUL TEHNIC este o ipostază a progresului, cea care se referă la noul înregistrat în tehnică pe planul cunoașterii și al acțiunii. Dar, prin tehnică se înțelege totalitatea uneltelor, metodelor și procedeelor de lucru cu ajutorul cărora se execută anumite operații sau se prelucrează bunurile necesare acoperirii nevoilor societății, existînd și sensul de totalitate a metodelor și procedeelor întrebuințate în practicarea unei îndeletniciri, în executarea unei operații, lucrări etc.

De aceea se poate afirma că progresul tehnic se situează în domeniul acțiunii sociale și se referă în mod expres la mijloacele prin care aceasta se aduce la îndeplinire. Rezultă de aici că progresul tehnic operează cu predilecție asupra obiectelor și mijloacelor de muncă, din care cauză se

Scanned with OKEN Scanner

caracterizează prin foarte vaste arii de manifestare și se folosește de multiple planuri pentru a-și aduce aportul.

Extensia propusă a semnificației noțiunii de tehnică are consecințe. Conținutul larg pe care-l are noțiunea de tehnică face ca aceasta să fie prezentă în toate procesele ce au loc în societate, economie și în natură. Ceea ce face ca progresul să se interfereze cu progresul social, economic și ecologic.

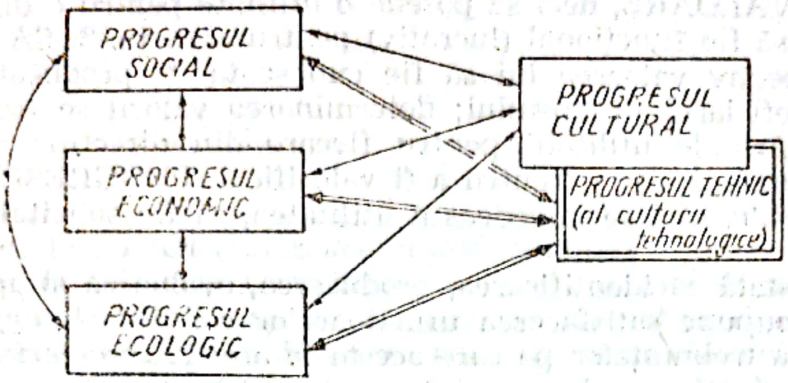


Fig. 1.1. Locul progresului tehnic în ansamblul formelor de progres.

Relațiile (fig. 1.1) dintre progresul ce intervine în macrosistemele menționate mai sus constau din aceea că, pe de o parte progresul tehnic generează evoluții favorabile, dar în același timp și el beneficiază, este sprijinit, de progresul social (calitatea factorului uman, organizarea socială cu instituțiile ei), de progresul economic (diversitatea, extensia și nivelul sistemelor de producție, al piețelor de desfacere și al rețelelor de distribuție etc.) și de progresul ecologic. În cadrul relațiilor progresului tehnic nu trebuie trecut cu vederea progresul culturii. Tehnica, respectiv tehnologia, face parte din cultura tehnologică, care este puternic influențată de progresul științei și culturii. Este ușor de sesizat *rolul de furnizor de progres* al tehnicii în toate direcțiile, dar și receptivitatea lui la evoluțiile și nevoile din celelalte sisteme, *asimilînd progresul din exterior*.

2. Structurile cu rol de dezvoltare — componentă a sistemelor de producție

Din cele prezentate mai înainte se naște întrebarea „ce interferență există între producție și dezvoltare, respectiv între acestea și progresul tehnic?“ Producției i se datorează bunurile și serviciile prin care se satisfac trebuințele și aspirațiile individuale, sociale, ale economiei etc. Ea este producătoare de cunoaștere, realizează și sprijină dezvoltarea culturală. Efectul cel mai sintetic al producției este calitatea vieții societății în care se realizează.

Calitatea sistemelor de producție, nivelul lor tehnic, economic, social, ecologic, nu de puține ori și moral, determină performanțele în toate aspectele esențiale indicate mai sus. Drept urmare, dezvoltarea continuă a producției în concordanță cu nevoile și posibilitățile de care se dispune constituie un imperativ al progresului general.

Scanned with OKEN Scanner

În asemenea condiții, dezvoltarea producției prin introducerea progresului de toate genurile, a progresului tehnic în principal, constituie O PRIORITATE A POLITICII DE DEZVOLTARE ECONOMICO-SOCIALĂ.

Caracteristica arătată a producției nu se realizează de la sine, în structura unității economice există anumite componente *cu rol de dezvoltare*. Pentru a localiza posibilitățile de introducere a progresului tehnic în producție, „spărgînd" întregul în părțile specifice spre care să se orienteze elementele de înnoire potrivite (funcționale și eficiente), este necesar să se cerceteze structura lor. Pentru aceasta se propun mai multe viziuni și anume după: 1. marile blocuri funcționale; 2. natura elementelor constitutive și conlucrarea lor în blocurile funcționale; 3. funcțiile clasice ale unității de producție și 4. funcțiile conducerii.

ANALIZA BLOCURILOR FUNCȚIONALE ale producției diferențiază (fig. 1.2, *a* și *b*): 1. *sistemul de conducere,* care, bazat pe o informație adecvată, stabilește obiectivele, concepe condițiile, asigură resursele, spri-

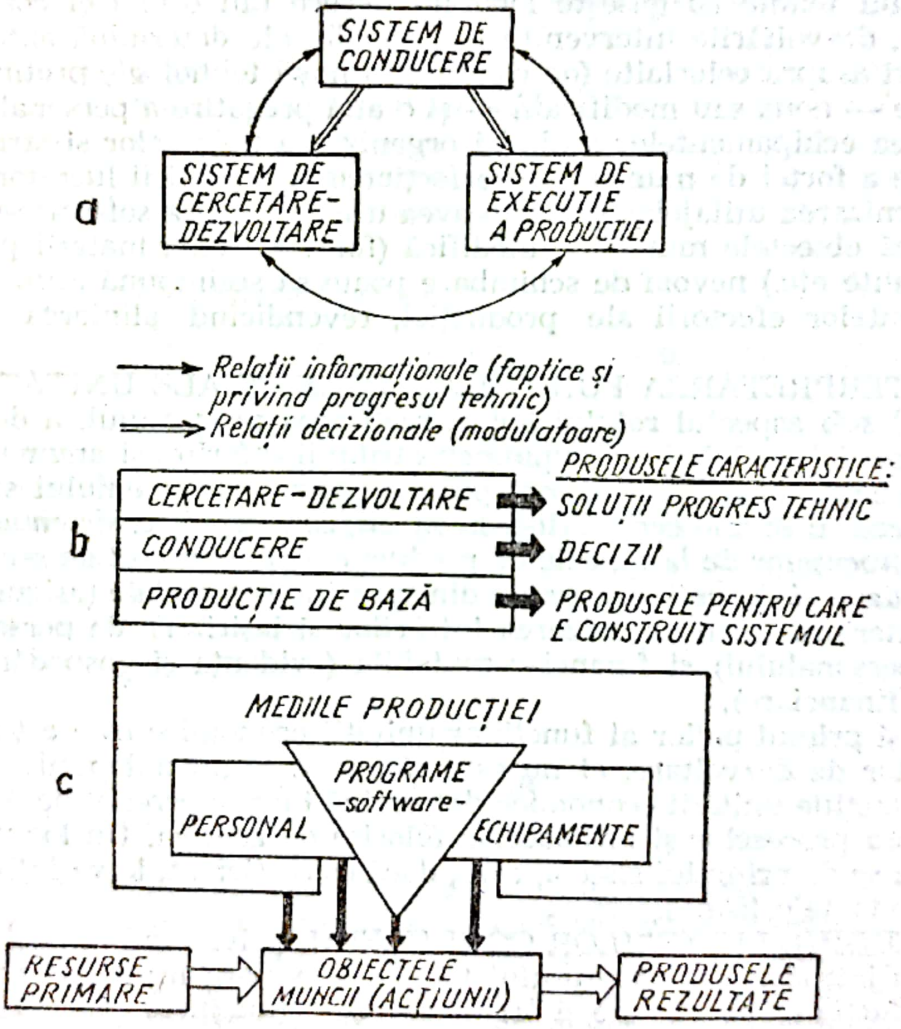


Fig. 1.2. Componentele dezvoltatoare ale producției.

jină execuția și evaluează rezultatele; 2. *sistemul de cercetare-dezvoltare,* orientat spre diagnosticarea și prognozarea diferitelor aspecte ale producției, beneficiarilor și furnizorilor, sistematizarea problemelor de dezvoltare și, corespunzător opțiunilor conducerii, elaborarea soluțiilor de realizare și introducere a progresului tehnic; 3. *sistemul de execuție a produc-*

Scanned with OKEN Scanner

ției, ale cărui atribuții constau din aplicarea fidelă a informațiilor programatice livrate de celelalte două sisteme.

Este evidentă interdependența dintre blocurile funcționale. Strînsa conlucrare funcțională dintre cele trei blocuri și nevoia ca evoluția lor să fie corelată invită la introducerea simultană a progresului tehnic și acordarea unei priorități conducerii și cercetării-dezvoltării, care sînt sistemele de concepție și decizie ale producției.

CERCETAREA TIPOLOGICĂ A ELEMENTELOR CONSTITUTIVE ALE BLOCURILOR FUNCȚIONALE ale producției (fig. 1.2, *c)* distinge, în compoziția fiecăruia dintre acestea, intervenții asupra obiectelor muncii, locul unde se produce transformarea, se generează valoarea, prin participarea: 1. *fondului de programare* (tehnologii, soluții organizatorice, normative etc.) ce determină procesul; 2. *a echipamentelor* ce creează condiții și sprijină derularea operațiilor și 3. *a personalului* care este elementul activ ce participă direct și le catalizează pe celelalte două.

Analiza morfologică propusă îndreptățește afirmația că introducerea progresului tehnic își găsește locul la fiecare din cele trei componente. Totodată, dezvoltările intervenite la unul din ele determină automat restructurări asupra celorlalte (de exemplu o nouă tehnologie pretinde o altă instalație — nouă sau modificată — și o altă pregătire a personalului, modernizarea echipamentelor schimbă organizarea proceselor și structura de calificare a forței de muncă, iar perfecționarea pregătirii lucrătorilor duce la modernizarea utilajelor și poate avea urmări asupra software-ului aplicat). Dacă obiectele muncii se modifică (folosirea unei materii prime mai performante etc.) nevoia de schimbare poate să se impună asupra tuturor componentelor efectorii ale producției, revendicînd alinierea ca nivel tehnic.

INTERPRETAREA FUNCȚIILOR CLASICE ALE UNITĂȚII ECONOMICE sub aspectul rolului lor în realizarea progresului, a dezvoltării, departajează (fig. 1.3) trei grupaje cu atribuții diferite, și anume: 1. *sistemul de adaptare și evoluție* corespunzător cerințelor mediului social-economic, ceea ce revine cercetării-dezvoltării, concepției; 2. *sistemul de efectuare a proceselor de bază,* cele de producție, și 3. *sistemul de servicii pentru producție și dezvoltare,* format din funcțiile comerciale (asigură legătura cu exteriorul prin organizarea intrărilor și ieșirilor), de personal (gestiunea personalului) și financiar-contabilă (evidența și gospodărirea mijloacelor financiare).

Deși primul palier al funcțiilor unității economice este cel mai mare producător de dezvoltare, el nu este singurul. Rolul îndeplinit de fiecare dintre funcțiile unității economice determină introducerea progresului tehnic asupra proceselor și mijloacelor folosite de acestea. Un loc privilegiat se cere a se da primului sistem, care, dacă este eficient, le va influența puternic pe toate celelalte.

STUDIUL FUNCȚIILOR CONDUCERII, privite sub aspectul contribuției la introducerea progresului tehnic, se separă în: 1. *funcții ce concep producția* — previziune și organizare și 2, *funcții ce execută producția* — coordonarea și controlul. Deoarece conducerea acționează ca un sistem, cu cele patru funcții agregate, departajarea este convențională, întrucît ele cooperează mult între ele. În ceea ce privește progresul tehnic, întîietate trebuie acordată funcțiilor de concepție, însă în corelare cu dezvoltarea ce se va opera pentru funcțiile de execuție.

Concluzia generală ce decurge din diferitele aspecte ale elementelor morfologice analizate ale producției arată că prezența progresului tehnic

Scanned with OKEN Scanner

este necesară în întreaga structură a sistemului de producție. Deși se impune stabilirea unor priorități, aceasta nu exclude tratarea globală a modernizării. Numai prin viziuni integraliste producția viitorului va fi mult mai performantă, perfecționare datorată însemnătății ce se va da modernizării, ca efect al dezvoltării factorilor creativi și realizării și implementării într-un ritm mai intens a progresului tehnic.

Cele de mai sus vor fi puternic susținute de apariția și aplicarea unui instrumentar mai eficient, care *va contribui la tehnologicizarea produselor*

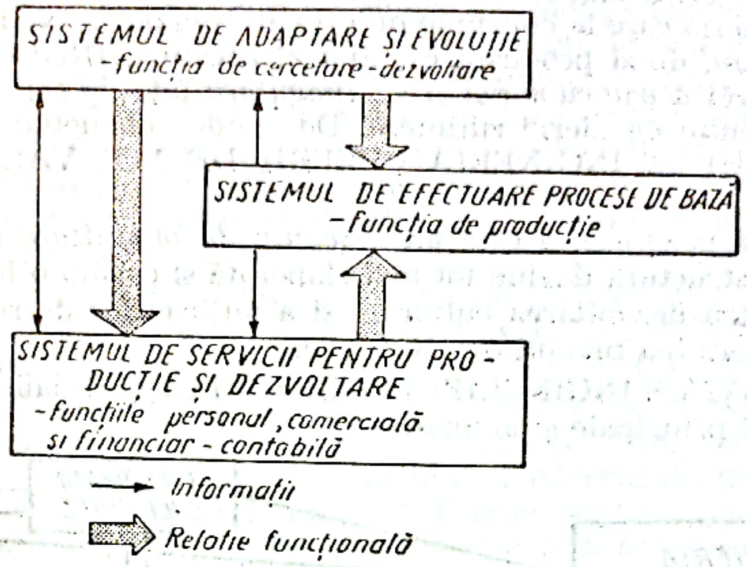


Fig. 1.3. Aportul funcțiilor unităților economice la dezvoltare.

și aplicarea progresului tehnic. Introducerea rapidă a informaticii va obliga pe producătorii de progres tehnic — cercetarea științifică și înnoirea tehnologică — să fie informați la zi asupra stabilității exacte a fiecărei componente a procesului de producție, precum și asupra situației reale a nivelului tehnic și a mijloacelor de producție implicate în orice proces creator de bunuri materiale sau spirituale.

3. Există și este necesară astăzi o inginerie a progresului tehnic?

Pînă nu de mult unitățile în care se consuma efortul de cercetare și proiectare nu erau prea extinse. Cel mai adesea erau incomparabil mai mici decît marile sisteme de producție contemporane cu ele (complexele industriale și agricole). Amploarea pe care a luat-o activitatea de creație în ultima vreme se reflectă și în dezvoltarea evidentă a bazei tehnico-materiale a acesteia. Astfel, tot mai numeroase unități moderne de cercetare și dezvoltare tehnologică ajung la nivelul marilor unități productive. Ele *integrează* cercetarea cu producția și cu învățămîntul.

Aprofundarea proceselor ce caracterizează cercetarea științifică, dezvoltarea tehnologică și introducerea progresului tehnic demonstrează că acestea prezintă toate însușirile sistemelor de producție, cu diferența că ele au drept rezultat PRODUSE ALE INTELIGENȚEI UMANE, care în final

Scanned with OKEN Scanner

au utilitatea că devin *informații programatice cu potențial modificator* (modele de acțiune, tehnologii) pentru producția materială. Această constatare îndrituiește să se socotească că *în cadrul lor intervin tehnologii specifice de dezvoltare,* care sînt asamblate sub forma unor inginerii ale progresului din diferite domenii, deci și *o inginerie a progresului tehnic.*

Toate cele arătate pînă aici conduc la părerea că funcția de bază a unităților complexe de cercetare, producție și învățămînt este PRODUCEREA PROGRESULUI, creșterea valorii diferitelor componente și rezultate ale producției. Tehnologiile ce stau la baza realizării acestui gen de producție și ingineria care le cuprinde nu este altceva decît INGINERIA PROGRESULUI sau, după produsul esențial al acestuia, INGINERIA VALORII, mai concret *a valorilor noi și suplimentare* față de cele obținute prin procedee devenite de „ieri" rutiniere. De unde deducția: INGINERIA PROGRESULUI = INGINERIA CREERII DE NOI VALORI DE ACȚIUNE.

Ingineria progresului este *un domeniu de organizare a acțiunii sociale* a cărui structură devine tot mai elaborată și capătă o însemnătate în creșterea pentru dezvoltarea culturală și a mijloacelor de realizare a bunurilor ce determină nivelul de civilizație.

APLICAȚIILE INGINERIEI PROGRESULUI se canalizează (fig. 1.4) în trei direcții principale și anume:

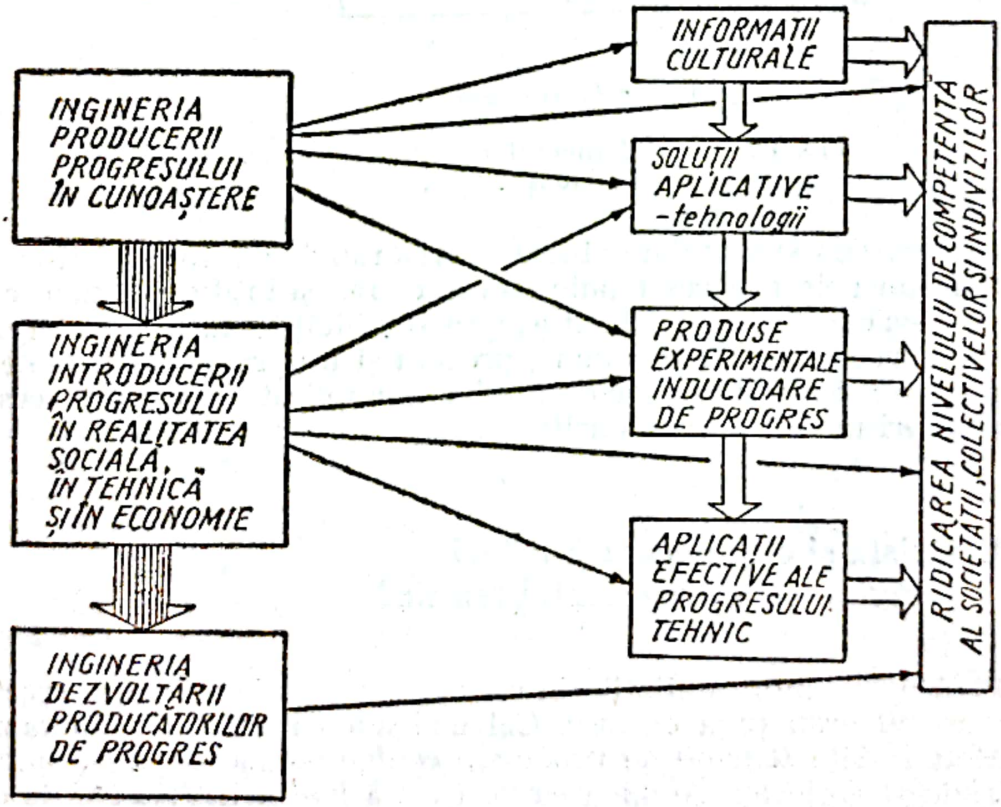


Fig. 1.4. Formele de manifestare ale ingineriei progresului.

Ingineria producerii progresului în cunoaștere, care organizează sistemele cercetării științifice orientate pe: 1. *cercetarea fundamentală,* care prin cercetări realizează descoperirea de noi legi și posibilități de satisfacere a cerințelor sociale; 2. *cercetarea aplicativă,* care, prin folosirea cunoștințelor obținute în științele de bază, prin cercetări și exprimentări

Scanned with OKEN Scanner

aplicative pentru verificarea ipotezelor bazate pe cunoștințele fundamentale, dar și prin elaborarea de documentații ce perfecționează cunoștințele aplicative, face asamblări și descoperiri cu aplicație directă și creează noi soluții posibile de aplicat.

Ingineria introducerii progresului în realitatea socială, în tehnică, în economie etc. este aceea care pregătește condițiile și realizează implementarea efectivă a noului. Ea se ocupă de: 1. *realizarea proiectelor necesare aplicării* (constructive, tehnologice și altele), a stațiilor pilot, a modelelor experimentale, surselor biologice de avizare și a prototipurilor industriale; ingineria introducerii progresului elaborează soluții tehnice concrete pentru aplicare, realizează noi produse și tehnologii, le modernizează pe cele existente; 2. *asimilarea în producție a progresului* prin pregătirea condițiilor materiale, umane și de altă natură, și prin conducerea acțiunilor speciale de preluare efectivă și de asigurare a service-ului; 3; *difuzarea efectelor progresului* în sistemele beneficiare, pregătind și introducînd la nivelul acestora valorificarea produselor perfecționate ce li se livrează, urmărind întreținerea și actualizarea lor corespunzător cerințelor acestora.

Ingineria dezvoltării producătorilor de progres, care a început să fie din ce în ce mai mult practicată, deoarece s-a lămurit faptul că promovarea progresului trebuie să se facă cu precădere la nivelul factorilor de dezvoltare (al conducerii, cercetării, proiectării și învățămîntului).

Structura funcțională arătată a ingineriei progresului ilustrează pregnant legătura acesteia cu procesele de modernizare, de creștere a utilului, a eficienței economice și sociale. Este evident că *ingineria progresului se pretează a fi definită drept ingineria valorii nou create.*

PRODUSELE INGINERIEI PROGRESULUI, așa cum se deduce din cele de mai sus, sînt reprezentate din: 1. *informații* ce întregesc și restructurează cultura și tehnologiile pe care ea le generează; 2. *soluții aplicative ale tehnologiilor* realizate în urma progresului tehnic (documentații ce cuprind rezolvările concrete ale implementării într-o anumită situație); 3. *produse experimentale sau inductoare de progres,* cum sînt materialul biologic nou creat, prototipurile, machetele, aplicațiile model și altele; 4. *aplicațiile efective ale progresului tehnic,* formate din produse, sisteme de fabricație, distribuție și consum etc., îmbunătățite pe această cale; 5. *ridicarea nivelului de competență* al societății, al colectivelor și al fiecărui individ.

4. Tehnologiile producerii și aplicării progresului tehnic

Producerea și aplicarea progresului tehnic a devenit astăzi, mai mult decît oricînd în trecut, o acțiune organizată, care își caută mijloace proprii de realizare și eficientizare. Între acestea se situează și *conceperea și promovarea unor tehnologii de înnoire* de o tot mai mare diversitate. După efectele pe care le au asupra dezvoltării producției se propune (Fig. 1.5) următoarea sistematizare provizorie a lor:

1. TEHNOLOGII PENTRU PERFECȚIONAREA TEHNOLOGIILOR CURENTE, cele aplicate asupra substanței, energiei, informației, factorului uman și a altor componente. Aceste tehnologii pot deveni mai perfor-

Scanned with OKEN Scanner

mante, fără a li se aduce modificări de fond, dacă se ridică fidelitatea aplicării lor, ceea ce se poate obține prin înzestrarea cu SDV-uri și AMC-uri, prin îmbunătățirea organizării muncii și altele.

2. TEHNOLOGII DE IMPLEMENTARE A PURTĂTORILOR DE PROGRES, după caz, sub formă de informații, obiective ale producției, materii și materiale, mijloace de muncă, personal și altele. Pentru toți

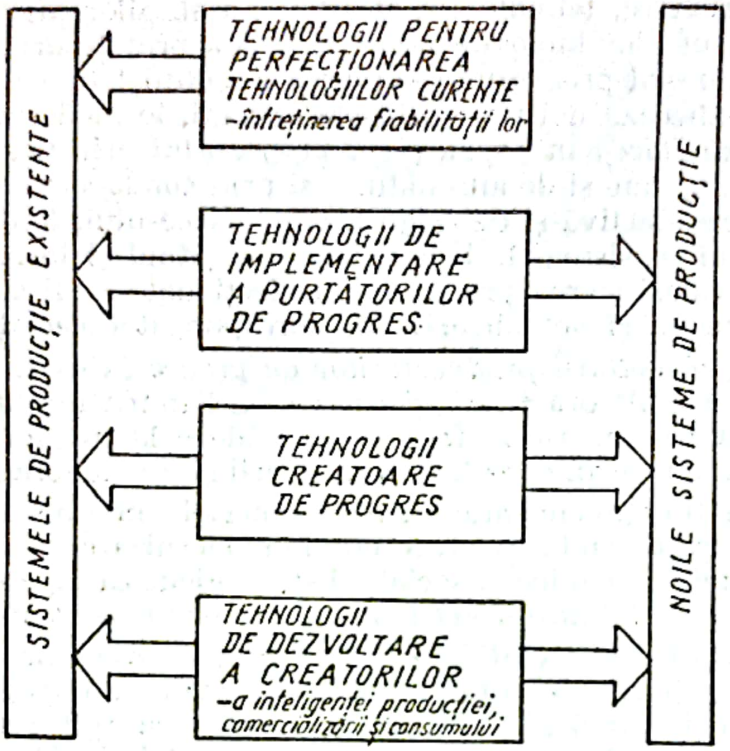


Fig. 1.5. Tehnologiile producerii și aplicării progresului tehnic.

aceștia tehnologiile de implementare vizează identificarea, valorizarea, organizarea valorificării și extragerea (manifestarea efectivă) a valorilor conținute de noile soluții.

3. TEHNOLOGII CREATOARE DE PROGRES, de creație, de producere a purtătorilor de progres, care sînt și ele de o mare diversitate. Se includ printre acestea cele ce îmbunătățesc procesele de analiză, sinteză, de stimulare a inventivității, de cooperare între diferitele inteligențe ce participă în acțiunea socială (inteligențele: umană, artificială, biologică) și altele.

4. TEHNOLOGII DE DEZVOLTARE A CREATORILOR, în fond a inteligenței producției, comercializării și consumului, în ultimă expresie a inteligenței sociale ce proiectează, operaționalizează și beneficiază de progresele ce se induc în sistem, cel mai adesea și în macrosistemele cu care acțiunea acestuia are incidență.

Tratarea corespunzătoare a progresului și modernizării producției pretinde luarea în seamă simultană a tuturor celor patru tipuri de tehnologii de dezvoltare, cu precizarea că: *pentru efecte imediate* ordinea de prioritate poate fi cea indicată mai sus (1→4), în timp ce *pentru efecte de perspectivă*, determinante pentru evoluția ce va avea loc, se cere inversarea însemnătății (4→1).

Scanned with OKEN Scanner

5. Funcţiile şi principiile tehnologiilor şi ale ingineriei progresului tehnic

Este unanim acceptat că un domeniu nou al cunoaşterii îşi îndreptăţeşte existenţa, acreditarea, numai în cazul în care operează pe structuri şi cu obiective bine determinate, folosindu-se de mijloace (instrumente) ce-i sînt proprii. La această condiţie trebuie să răspundă şi ingineria progresului tehnic, ca domeniu concret al acţiunii şi devenirii sociale.

În acest sens este important de relevat că tehnologiile şi ingineria progresului tehnic au drept rezultat producerea de valori noi şi suplimentare, care se localizează în: 1. *plusul de funcţionalitate* pe care-l ocazionează prin organizarea structurilor; 2. *asigurarea calităţii* în raport cu diferitele ipostaze ale spaţiului şi timpului şi 3. *valorificarea superioară a resurselor* de care se foloseşte producţia şi a celor ce intră în componenţa produselor.

ORGANIZAREA FUNCŢIONALITĂŢII STRUCTURILOR prin introducerea progresului tehnic (fig. 1.6) se referă la aportul pe care acesta îl aduce la: 1. *determinarea cererii* de produse deţinătoare de progres teh-

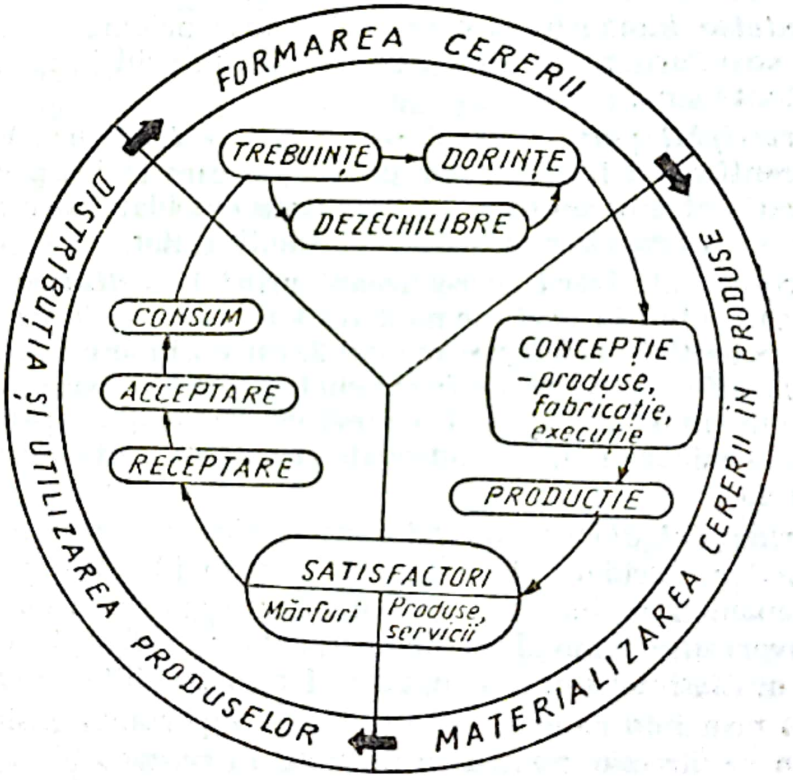


Fig. 1.6. Etapele ciclului „formare cerere, realizare satisfactori, acoperire nevoi".

nic; 2. *materializarea cererii* în structuri (satisfăcători potenţiali) ce înglobează progresul tehnic şi 3. *distribuţia şi consumarea* (utilizarea) *progresului tehnic implementat*.

Formularea cererii de produse deţinătoare de progres tehnic se realizează prin metodele şi tehnicile noi şi perfecţionate, ce se obţin pentru studierea şi formularea trebuinţelor (nevoile obiective), a dezechilibrelor (nevoile de corectare a unor stări anormale, de boală, de dezechilibru etc.)

Scanned with OKEN Scanner

și a dorințelor ca sinteză conștientizată și acceptată a celor de mai sus, însă modelată de viziunea subiectivă a celui ce o exprimă.

Materializarea cererii în structuri deținătoare ale progresului tehnic, ale funcționalității suplimentare căutate, se referă la rolul ce revine concepției produselor înzestrate cu acele valori, pregătirii tehnice și materiale a sistemelor de producție prin care vor fi ele realizate și organizării curente a producției (programării și exigenței) pentru îndeplinirea unor sarcini concrete, pentru care există solicitare sau piață aptă de a le prelua. Urmează execuția structurilor deținătoare de progres tehnic pe baza soluțiilor concepute așa cum s-a arătat mai sus.

Distribuția și consumarea progresului tehnic, a structurilor purtătoare ale acestuia, reprezintă al treilea și ultimul segment al organizării funcționalității structurilor. El face legătura dintre satisfăcătorii produși și acoperirea efectivă a cererii, ceea ce comportă un lanț cu o serie de verigi, ale căror principale funcții sînt cele *de receptare* (identificarea purtătorului de valoare, de progres, și realizarea legăturii dintre acesta și direcția de întrebuințare ce i se poate da) și *de acceptare* (valorizarea utilității, a eforturilor, condițiilor și implicațiilor pe care le determină la beneficiari și luarea pe aceste baze a deciziei favorabile de introducere a lor în aplicare).

Activitatea ingineriei progresului tehnic privind organizarea funcționalității structurilor se bazează pe mai multe principii, dintre care cele mai importante sînt:

• *Principiul perfecționării valorizării realităților:* Organizarea investigării continue a fenomenelor producției care ridică probleme, a acelora care nu sînt suficient sau în totalitate elucidate, pentru a se adînci cunoșterea manifestărilor, cauzelor și implicațiilor ce le caracterizează.

Progresul valorizării se realizează prin: 1. *utilizarea informațiilor existente,* care pînă în acel moment nu au fost puse în legătură cu existența unui potențial de progres tehnic; 2. întreprinderea de acțiuni pentru *obținerea de informații noi* ale fenomenelor ce interesează și care prin clarificări suplimentare pot deveni o sursă de progres; 3. apelarea la instrumente de investigare noi, mai adecvate și mai eficiente pentru *descifrarea necunoscutelor.*

• *Principiul alocării laturii constructive a fenomenelor:* Folosirea caracteristicilor elucidate ale fenomenelor prin identificarea zonelor producției, economiei, societății și naturii în care aplicarea lor selectivă și în condiții favorizante bine determinate poate contribui la obținerea unor tehnici cu utilități noi sau îmbunătățite față de stadiile anterioare.

Acest principiu reflectă necesitatea și importanța găsirii progresului cultural (în ce direcție, pentru ce utilități, în ce condiții etc.) și transformarea lui în unelte, pentru construirea unei valori îmbunătățite a tehnologiilor, produselor, sistemelor de producție, distribuție și consum și altele.

• *Principiul utilității direcționate a progresului tehnic:* Utilitatea produselor progresului tehnic depinde de direcțiile pe care urmează să le obțină. În spiritul acestui principiu, produsele progresului tehnic au o valoare culturală prin adaosul pe care-l aduce cunoașterii și o valoare economică, socială, ecologică etc. corespunzătoare zonelor în care vor fi folosite. Selectarea soluțiilor progresului tehnic în vederea aplicării nu se poate face în general, ea pretinzînd, mai întîi, stabilirea beneficiarilor progresului tehnic și a nevoilor de satisfăcut.

Scanned with OKEN Scanner

ASIGURAREA CALITĂȚII ÎN RAPORT CU DIFERITELE IPOSTAZE ALE SPAȚIULUI ȘI TIMPULUI este un alt plan în care progresul tehnic își aduce o foarte însemnată contribuție.

Spațiul reflectă raporturile de coexistență dintre obiecte și fenomene, sau părți ale acestora, indicînd întinderea, distanța și poziția lor. Se întîlnesc mai multe expresii ale spațiului și anume: *spațiul fizic* (distribuția sistemelor materiale, sociale, culturale etc. a surselor, traseelor și beneficiarilor finali ai diferitelor procese de transformare ș.a.m.d.), *spațiul economic* (traducerea în limbaj și dimensiuni economice a spațiului fizic al unui proces, produs etc.), *spațiul biologic* (particularitățile biologice ale spațiului, cu consecințele lor asupra cererii de produse, a resurselor desfășurării proceselor și altele) și *spațiul socio-cultural* (nivel cultural, cu influențele lui asupra societății și cerințelor acesteia, precum și asupra posibilităților de producție, distribuție și consum).

Între expresiile arătate ale spațiului există relații complexe de interdependență, prin a căror îmbunătățire se obțin eficiențe suplimentare. Progresul tehnic are semnificative contribuții în această direcție. Exemplificarea respectivelor influențe se ilustrează prin optimizarea spațiului economic, care se servește de produsele progresului tehnic ce determină: 1. *minimizarea spațiului fizic* sau a cheltuielilor ocazionate de acesta (de transport, manipulare etc.); 2. *valorificarea superioară a resurselor oferite de spațiul natural* (climatic, mineral și biologic); 3. *satisfacerea cît mai complexă a dimensiunii spațiale a cererilor de produse* (a nevoilor); 4. utilizarea cuceririlor tehnice obținute *în spațiile culturale cu performanțe tehnice și economice de vîrf;* 5. luarea în seamă și *îmbunătățirea (educarea) spațiului socio-cultural,* precum și alte direcții de îmbunătățire.

Timpul este expresia duratei de existență a obiectelor și fenomenelor, el permite să se sesizeze simultaneitatea și/sau succesiunea lor. Timpul are o mare însemnătate pentru sistemele de producție, în general, fiind considerat un „mijloc" de producție a cărui pierdere este ireversibilă, îndeosebi pentru cele producătoare de inteligență. Una din cele mai remarcabile contribuții ale progresului tehnic este *acțiunea lui asupra timpului,* prin generarea de fenomene ce dilată sau contractă timpul. Spre deosebire de spațiu care este reversibil, dacă se consumă timp și energie, *timpul este ireversibil.*

Sistemele ce imprimă spațiului diferite ipostaze se regăsesc și în cazul timpului. Se întîlnesc: *timpul fizic* (perioadele ce caracterizează existența unor fenomene, legi și structuri, viteza desfășurării lor și altele); *timpul economic* (legătura și racordarea timpului și, indirect, a spațiului cu expresia economică a producției, produselor etc.); *timpul biologic* (denumit și bioritm, este specific lumii vii și indică periodicitatea, ritmul și întinderea proceselor biologice) și *timpul socio-cultural* (înțelegerea pe care o dă omul timpului său, modelării nevoilor sale, valorificării resurselor, execuției producției, nivelului tehnic al mijloacelor de care se servește și altele).

Categoriile de timpi îndeplinesc, corespunzător direcției de utilizare, funcții limitative sau favorizante ale producerii și manifestării valorii. Din această cauză, orientarea progresului tehnic în direcția influențării timpului, alegerii celei mai avantajoase alternative a ipostazelor lui, face parte din obiectivele cele mai adesea urmărite.

Dacă se analizează posibilitățile de care dispune progresul tehnic pentru a îmbunătăți eficiența economică, deci de a optimiza timpul economic, se remarcă: 1. *intensificarea proceselor* ce generează timpul fizic

Scanned with OKEN Scanner

de obținere și vehiculare a produselor; 2. *întîrzierea proceselor* responsabile de pierderea fiabilității sistemelor și a celor ce duc la cheltuieli și indisponibilizări suplimentare; 3. *corelarea timpilor de producție* cu cei ai cererii și ai resurselor; 4. *influențarea timpului socio-cultural* pentru a-l face mai adecvat, funcțional și economic.

Influențarea valorii structurilor prin contribuția progresului tehnic la perfecționarea în raport cu spațiul și timpul se bazează pe următoarele principii:

• *Principiul progresului tehnic prin corelație spațio-temporală:* Alegerea celei mai adecvate arhitecturi a diferitlor categorii de spațiu și timp, apelînd la tehnici noi sau îmbunătățite, sînt generatoare de valoare suplimentară, de eficiență, pentru sistemul pe care se operează.

• *Principiul valorificării imediate și multiple a progresului tehnic:* Soluțiile de progres tehnic nou descoperite și cele pentru care s-au realizat posibilități suplimentare de aplicare se cer a fi valorificate cu maximum de operativitate și în toate situațiile în care valorificarea este posibilă.

Eficiența progresului tehnic depinde de *potențialul lui de înnoire,* ca valoare generică, însă este foarte puternic condiționată de *modul în care se organizează „extragerea" utilității deținute.* Orice întîrziere sau aplicare în direcții de întrebuințare restrînse sînt de natură să diminueze nivelul eficienței. La limită, dacă nu se întreprinde nimic pentru valorificarea progresului tehnic, întreaga eficiență a acestuia se poate pierde. Istoria tehnicii a consemnat o mulțime de astfel de deficiențe, unele redescoperite ulterior, deoarece găsirea unor soluții pentru utilitățile respective se impunea oricum.

VALORIFICAREA SUPERIOARĂ A RESURSELOR este un imperativ ce a fost prezent în toate perioadele istorice, însă el a cîștigat în intensitate în perioada actuală datorită dificultăților de asigurare a energiei, alimentelor și a altor materiale. Progresul tehnic își aduce un constant aport la perfecționarea randamentelor, prin îmbunătățirea tehnologiilor, promovarea de înlocuitori și altele. Realizarea unei valorificări superioare a resurselor se încadrează în:

• *Principiul economiei de mijloace:* Fiecare din procesele ce intervin în conceperea, aplicarea, producerea și utilizarea progresului tehnic trebuie să fie realizate cu consumuri minime de resurse.

În afară de principiile ingineriei progresului tehnic arătate mai sus distinct pentru fiecare din rolurile pe care acesta le îndeplinește în dezvoltarea economico-socială se mai aplică și alte principii, care sînt DE CEA MAI MARE CUPRINDERE și anume:

• *Principiul necesității intervenției progresului tehnic:* Producerea și aplicarea progresului tehnic se impune numai în situația în care se estimează realizarea unui plus de utilități.

Deoarece atît producerea cît și implementarea progresului tehnic determină anumite eforturi (cheltuieli) acțiunile în legătură cu acesta se justifică numai dacă plusul de valoare care se obține este mai mare decît eforturile pe care le ocazionează.

• *Principiul constituirii valorii progresului tehnic prin cumulare sistemică:* Utilitatea produselor progresului thnic decurge din suma valorilor suplimentare (pozitive sau negative) ce se obțin în toate zonele de manifestare a acestuia, atît a celor căutate, cît și a celor neprevăzute și nedorite.

Determinarea valorii unui produs al progresului tehnic se poate face

Scanned with OKEN Scanner

numai după ce, în prealabil, s-au identificat zonele de impact ale acestuia. Calimetria valorii progresului tehnic trebuie să surprindă toate spețele de efecte ce se produc.

Ingineria progresului se deosebește de ingineria executării producției prin aceea că *ea nu repetă sistematic realizarea* (reeditarea) *unor valori cunoscute*. Ingineria progresului are drept obiectiv *crearea de noi valori*, iar prin structura informațională a progresului, a cărui utilizare poate fi reluată la nesfîrșit, *adiționează noi valori* pentru execuția producției, pentru existența socială.

O altă caracteristică a progresului este sinergismul său, capacitatea lui de a realiza valori suplimentare față de simpla însumare și de a imprima schimbări (valori) și în alte zone sau planuri, uneori deosebit de depărtate față de acțiunea primară.

Ingineria progresului tehnic are rolul de a organiza creșterea valorii acțiunilor umane, în care scop pregătește condițiile și stimulează creativitatea în vederea soluționării unor probleme de interes pentru producție și pentru utilizatorii realizărilor acesteia. Efectele ingineriei progresului tehnic au proprietăți aditive și sinergice asupra valorii producției în zonele directe și indirecte de manifestare a acesteia.

• *Principiul nondisfuncționalității progresului tehnic:* Soluțiile progresului tehnic trebuie să nu inducă în zonele de aplicare sau în altele disfuncționalități, să nu altereze stările și evoluțiile anterioare decît dacă acesta împiedică aplicarea noului, îmbunătățirea. Deoarece, frecvent, produsele progresului tehnic prezintă utilități pentru anumite folosințe și nonutilități pentru altele, afectarea lui se va face în așa fel încît să fie promovat numai în cazurile în care contribuie la îmbunătățirea valorii.

6. Tipologia căilor de manifestare a tehnologiilor și a ingineriei progresului tehnic

O sursă importantă de înțelegere a căilor de manifestare a tehnologiilor și ingineriilor dezvoltatoare o reprezintă *experiența naturii*. Toate sistemele vii, biologice — în general — și umane — în particular, după cum s-a mai arătat, au ca dominante ale funcționării asigurarea supraviețuirii lor în condițiile unui mediu în continuă schimbare, care introduce mereu noi restricții și facilități, precum și permanenta evoluție, care vizează o cît mai bună organizare a lor în raport de rolul ce le revine în ansamblurile mai ample în care se găsesc incluse (ecosisteme pentru organismele biologice, ecosisteme și macrosisteme economice pentru organismele create de om). Cele două procese sînt o manifestare a ADAPTĂRII LA MEDIU a respectivelor sisteme și crearea în cadrul acestuia *de noi sisteme antropizate*.

Adaptarea la mediu poate fi *ofensivă*, în sensul adaptării prin schimbarea condițiilor pentru a le face favorabile și *de apărare*, ceea ce corespunde unei modelări în raport cu mutațiile intervenite în mediu.

Această viziune privind dezvoltarea, a cărei valabilitate pentru floră și faună este demonstrată de experimentele de dezvoltare a biosului ce s-au desfășurat pe mai multe miliarde de ani, considerăm că este o matrice, *o paradigmă*, de la care omul nu s-a putut abate. Bineînțeles însă nu negăm sau ignorăm capacitatea de inovare a ființei umane, însă, așa după cum vom investiga și ilustra în continuare, contribuția acesteia

Scanned with OKEN Scanner

a constat din *descifrarea fenomenelor naturii şi utilizarea acestor „unelte"* în modificarea mediului după necesităţile sale.

În general, dezvoltarea, trecerea de la o treaptă inferioară la una superioară, de la simplu la complex etc. se realizează pe trei căi: ortodezvoltare, filodezvoltare şi dezvoltare prin evoluţie. Acestea acţionează fiecare separat.

ORTODEZVOLTAREA (orto — de la sine, dinăuntru) sau regenerarea, actualizarea şi modernizarea pentru menţinerea în funcţiune a unui sistem, cuprinde acţiunile pentru prelungirea existenţei, valorii, fiabilităţii lui. Prin ortodezvoltare se asigură autoconservarea sistemului.

Acest tip de dezvoltare se constituie drept prima treaptă a dezvoltării. El se manifestă prin aceea că: 1. *sistemul este înzestrat cu programe pentru a se autoactualiza,* a se vedea în acest sens continua reconstrucţie a organismelor vii; copiind acest model eficient de realizare a stabilităţii se preconizează că în viitorul apropiat unele sisteme tehnice evoluate (cibernetizate) vor fi în măsură să realizeze autoîntreţinerea şi autorepararea; 2. *actualizarea sistemului se face din afară,* de exemplu întreţinere şi repararea dotărilor materiale, proces în care sistemul supus regenerării (actualizării) rămîne pasiv la actul de remodelare şi 3. *aplicarea unor soluţii mixte,* care reprezintă o conlucrare între primele două variante, aşa cum se întîmplă la perfecţionarea pregătirii personalului, a muncii etc., care se face din iniţiativă şi prin efort propriu dar şi sau sub impulsul unor factori externi, de exemplu sub comanda şefului direct.

Efectul ortodezvoltării îl constituie extinderea în timp a valorii (utilităţi) unui sistem dat, prin eliminarea şi diminuarea influenţei factorilor de risc şi prin readucerea parametrilor lui de funcţionare la nivelurile iniţiale sau în limite admisibile. Consecinţa ortodezvoltării se regăseşte în valorificarea superioară — mai ales extensivă — a potenţialului acelui sistem.

Aplicarea ortodezvoltării *este condiţionată de mentenabilitatea sistemului,* respectiv de posibilităţile lui de a-şi recîştiga prin procese adecvate valoarea iniţială sau un nivel de valoare care să-l menţină în clasa celor utilizabile şi performante.

După criteriul mentenabilităţii în producţie se întîlnesc sisteme la care: 1. *mentenabilitatea este riguros autoorganizată,* este cazul — cu deosebire — la cele biologice, atît timp cît ele sînt sănătoase şi nu se situează pe curba de declin a ciclului de viaţă; 2. *mentenabilitatea este organizată mai ales prin acţiuni din afară,* aşa cum se procedează la corectarea stării de sănătate a sistemelor biologice, la întreţinerea şi repararea dotărilor materiale, la aplicarea de asolamente şi alte tratamente de influenţare a fertilităţii solului, la recondiţionarea unor materii şi produse, cu ocazia actualizării soluţiilor organizatorice, a programelor de lucru, a competenţei personalului ş.a.m.d.; 3. *mentenabilitatea întîmplătoare,* după nevoi, care se aplică pentru depanarea şi corectarea unor stări ce reduc funcţionalitatea, deci privesc intervenţii ulterioare înregistrării pierderii fiabilităţii.

Importanţa pe care o are mentenabilitatea sistemelor de producţie şi a elementelor ce le compun face ca asigurarea acestei caracteristici să fie *un deziderat de prim ordin* încă din faza de concepţie şi constituire a lor. Soluţia de realizare a mentenabilităţii în sistemele de producţie este indicat să se deplaseze de la mentenabilitatea întîmplătoare spre cea riguros organizată.

Scanned with OKEN Scanner

FILODEZVOLTAREA sau modernizarea prin generațiile succesive ale unui sistem biologic, de producție etc. este a doua treaptă a dezvoltării. De această dată dezvoltarea se desfășoară pe întinderi mai mari de timp și se referă la evoluții de genul: părinți (matcă) → copii, pentru sistemele biologice, instructor → instruit, în cazul pregătirii cadrelor, sisteme tehnice epuizate fizic și funcțional → sisteme noi și performante, cum se procedează la echipamente, instalații, mașini tehnologice și altele.

Spre deosebire de autodezvoltare, care are loc la nivelul unui sistem, *filodezvoltarea operează în cadrul unei populații de sistem similare.* De această dată în afară de reproducerea sistemelor se înregistrează și o mai bună funcționalitate, un progres pe linia adaptării și a schimbărilor intervenite în mediu.

Încă de la începuturile organizării producției, evoluția acesteia a fost realizată și prin intermediul filodezvoltării. Ori de cîte ori omul a descoperit un nou fenomen, a reușit să identifice posibilități de aplicare a lui în acțiunea practică, s-au născut noi tehnologii, mijloace de muncă și produse. Progresul civilizației este în cea mai mare parte rezultatul filodezvoltării.

Intensificarea progresului, în toate formele de manifestare a lui, a făcut ca efectele acestor schimbări să fie mult mai evidente și de amploare, ceea ce a impus marcarea lor în mod expres. Așa a apărut *noțiunea de generație,* mai bine zis de *succesiuni de generații,* pentru a indica transformările ce se înregistrează la nivelul produselor (mai întîi al calculatoarelor electronice și apoi și al altora), al tehnologiilor ș.a.m.d.

Rezultă că majoritatea sistemelor nu se rezumă numai la funcția de reproducere. Datorită mecanismului de feed-before, de învățare (memorare) din acțiunile trecute, noile generații nu reeditează absolut exact pe cele pe care le urmează, ele mai adaugă, pe baza experienței acumulate, unele corecturi și îmbunătățiri, care sînt în fond dezvoltări, premise și manifestări incipiente ale evoluției.

DEZVOLTAREA PRIN EVOLUȚIA SISTEMULUI este tipul de dezvoltare care are funcția predominantă de a fi principalul generator și purtător al progresului producției. Caracteristica cea mai relevantă a dezvoltării prin evoluție o reprezintă faptul că ea se aplică pe fiecare sau pe ambele tipuri de dezvoltare prezentate anterior (orto- și filo-), cu deosebirea fundamentală că rezultatul intervenției sale îl reprezintă: 1. *modificarea valorii,* de obicei favorabilă unei destinații, dar ea poate fi și defavorabilă, în care situație avem de a face cu o involuție; 2. *o mai completă și obiectivă descifrare a nevoilor de valoare,* respectiv, plusul de valorizare a relațiilor dintre utilizatorul și furnizorul de valoare; 3. *valorificarea superioară a sistemului respectiv,* în care caz sistemul se dovedește mai bine adaptat, mai eficient, mai stabil etc.

7. Performanțele ce caracterizează producția și purtătorii de progres ce le determină

Produsele pe care le realizează un sistem economic sînt purtătoare de utilități (de valori) pentru o anumită direcție de folosire. Relațiile ce decurg între valoarea structurii produse și valorificarea acesteia la utilizator, în raport de nevoile acestuia din urmă, determină performanțele

Scanned with OKEN Scanner

produselor realizate. Asemănător se prezintă problema și în cazul produselor tehnologiilor și a ingineriilor de progres tehnic, deci A PURTĂTORILOR DE PROGRES OBȚINUȚI.

PERFORMANȚELE UNITĂȚILOR ECONOMICE ȘI ALE PRODUSELOR SALE sînt determinate de aria de funcționalitate și de direcția de folosire a respectivului sistem. Cunoașterea performanțelor producției și a căilor de îmbunătățire a lor este deosebit de importantă pentru conducere. Mai întîi este necesar să fie definită și detaliată noțiunea de performanță.

Performanța, în general, este rezultatul obținut de om, un sistem tehnic etc. arătînd nivelurile de vîrf pe care acestea le pot atinge. Cunoașterea performanței posibile de obținut în anumite condiții date reprezintă valorizarea resursei respective și este o necesitate pentru organizarea valorificării.

Performanța în economie se referă la rezultatul prestației de muncă asupra obiectivelor muncii în valorile nou create și cu utilitatea ce se obține în urma intervenției operatorului. După maniera în care se face analiza rezultatelor se întîlnesc mai multe ipostaze ale performanței: absolută, operativă, relativă și altele.

Performanța absolută (exprimată, de obicei, prin indicatori tehnico-economici) este, conform celor arătate mai sus, acea formă de exprimare a performanței absolute care servește și este formulată corespunzător nevoilor unui anumit centru de comandă și analiză, situat în cadrul procesului logistic al produsului sau în afara lui. Spre deosebire de performanța absolută, care are un caracter independent de cei care preiau informația, *performanța operativă* este concepută ca un instrument de lucru pentru un lucrător (post) bine determinat.

Performanța relativă indică nivelul performanței realizate în raport cu performanța preconizată sau cu cea pentru care se dispunea de condiții sau au fost asigurate premisele.

Folosirea performanței ca referențial al potențialului calitativ și cantitativ al producției, ca mijloc de măsurare a rezultatelor acesteia, și ca *aspirație de dezvoltare a sistemelor* este o necesitate de prim ordin. Ingineria progresului tehnic are mari responsabilități în ceea ce privește performanța la care aspiră și, decurgînd din aceasta, în legătură cu *performanța efectivă obținută*.

PURTĂTORII POTENȚIALI DE PROGRES AI PRODUCȚIEI sînt foarte diverși, în general mult mai variați decît cei atrași efectiv în acțiunile practice de modernizare și dezvoltare. Din această cauză *o inventariere a lor este necesară și utilă* pentru a înțelege mulțimea de tehnologii prin care este posibilă dezvoltarea.

Abordînd sistemele de producție din perspectivă sincronică rezultă că cele mai importante elemente participante, care în același timp se cer a fi folosite ca acțiuni de progres în procesele de modernizare, sînt următoarele:

— informațiile și inteligențele ce intervin în conducerea, execuția și dezvoltarea producției;

— obiectivele producției prin care sînt concretizate sarcinile și performanțele ce și le propune sistemul în urma capacității informaționale și de inteligență de care a dispus;

— materiile și materialele folosite în producție sînt cele ce înglo-

Scanned with OKEN Scanner

bează valoarea adăugată prin procesele de producție și dezvoltare, valoare destinată și valorificată de beneficiarii produselor respective;

— mediile de producție și muncă sînt cele ce stau la baza producției, a transformărilor ce intervin, sau fac parte din condițiile necesare proceselor respective;

— mijloacele de muncă de care se servește producția;

— forța de muncă este acea resursă unică a producției care pune în acțiune toate celelalte componente și, în plus, contribuie la dezvoltarea acestora;

— mijloacele financiare care stau la baza organizării desfășurării și evaluării producției;

— sistemele de conducere a producției reprezintă o arhitectură particulară a unora din elementele arătate mai sus, acea parte a acestora care imprimă direcția, ritmul și eficiența utilizării lor;

— resursele energetice și energizante de care se servește producția sînt importante deoarece ele determină într-o bună măsură proiectarea și obținerea rezultatelor.

Introducerea progresului tehnic prin intermediul elementelor producției specificate mai sus se recomandă a se face atît prin *antrenarea lor particulară* cît și printr-o *dezvoltare corelată a mai multora dintre acestea*. Ingineria progresului tehnic trebuie să implice, să atragă și să folosească toți acești purtători potențiali de progres.

ÎN CONCLUZIE. Se poate afirma că *există o inginerie a progresului tehnic,* care, pe măsură ce se va structura și mai mult, va deveni tot mai sigur *un instrument în construcția viitorului,* a sistemelor producătoare și utilizatoare ale noului, ceea ce impune *organizarea unor cercetări în acest domeniu* care să contribuie la o mai rapidă instituire și aplicare a acestui nou segment al cunoașterii și al praxiologiei umane, precum și *integrarea lui printre disciplinele prevăzute în programele de formare și perfecționare a specialiștilor*, cu prioritate a celor ce acționează în organismele cu funcții pregnante de dezvoltatori, cum sînt cercetarea și proiectarea, învățămîntul și organele de conducere.

Scanned with OKEN Scanner

2

Conducerea strategică și evoluția sistemelor de fabricație

Gheorghe Manea
Institutul Național de Cercetări Economice

Ca precizări noționale, găsim pentru strategie, în literatura de specialitate, următoarele definiții: o *strategie*, sau o *ecuație de ritm*, recunoaște un obiectiv local spre care tinde punctul de decizie, compară obiectivul cu starea aparentă a sistemului pentru a sesiza diferența și utiliza această diferență pentru a ghida acțiunea [1]; o strategie descrie cum sînt utilizate informațiile disponibile pentru a genera decizii [2]. În concepția UNESCO, strategia este definită prin combinarea și organizarea în timp a ansamblului de metode și mijloace alese cu scopul atingerii unor obiective prestabilite [3].

Indiferent însă de formulare, strategia trebuie să se regăsească — ca funcțiune — a compartimentului de conducere al sistemelor de fabricație pentru a asigura realizarea obiectivelor pe termen mediu și lung, stabilite pentru evoluția acestui sistem.

În funcție de complexitatea procesului tehnologic și de scara de agregare a sistemului de fabricație, conducerea strategică, tactică și operativă poate fi regăsită, ca atribuții ale aceluiași subsistem de conducere [4], ca în schema din fig. 2.1, sau în cazul unor întreprinderi de dimensiuni mari, platforme industriale etc., stabilirea obiectivelor strategice este atribuția unor compartimente separat organizate [5, 6], ca subsisteme de conducere, conform schemei din fig. 2.2.

Evoluția sistemelor de fabricație este, în final, rezultanta modului cum întreprinderea se adaptează multiplelor influențe exterioare (cerințelor pieții, constrîngerilor impuse de protecția mediului înconjurător, calității materiilor prime și disponibilului acesteia, progreselor din domeniile științei și tehnologiei etc.) și interne (necesității reducerii costurilor de fabricație, perfecționării și modernizării tehnologiilor și produselor etc.), mobilizînd, pentru aceasta, factorii favorizanți îndeplinirii obiectivelor strategice și diminuînd acțiunea factorilor restrictivi evoluției economice.

Strategiei de dezvoltare i se datorează poziția pe piață a unui produs sau chiar supraviețuirea economică a unei întreprinderi (tabelul 2.1). În acest ultim caz, esențială este planificarea strategică [7], care fixează obiectivele și mijloacele de acțiune în funcție de anumite alternative prestabilite sau probabile, recurgîndu-se, pentru aceasta, la un efort de reflexie prospectivă sau explorativă asupra viitorului. Această „veghe" permanentă asupra schimbărilor posibile tehnologice, economice sau sociale permite alertarea la timp a întreprinderii asupra pericolelor și oportunităților provenite din mediul exterior.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.1 **Exemple de obiective strategice extrase din literatura de specialitate**

Aria de aplicaţie	Obiectivul	Sursa bibliografică
Economia mondială	Supravieţuire pe piaţă prin calitatea produselor	Revista Economică nr. 8/26 febr. 1988, p. 25
Cehoslovacia	Creşterea eficienţei exporturilor	Revista Economică nr. 19/8 mai 1987, p. 29
	Reducerea consumurilor de energie şi combustibil, pe unitatea de venit naţional, în medie cu 2% anual	Rudé Pravó 290/9 dec 1986
Japonia	Stimularea industriei prin stimularea progresului tehnico-ştiinţific	Revista Economică nr. 9/27 febr. 1987
Anglia	Reducerea costurilor de producţie în ramurile, grupele de producţie şi instalaţiile industriale în care Anglia este concurată pe piaţa externă Dezvoltarea industriilor noi, de tip informatizat, biotehnologii etc. caracterizate prin consumuri reduse de resurse materiale şi energetice Menţinerea la nivel continuu competitiv a unor produse şi tehnologii a căror importanţă în viitor va creşte (oţeluri speciale, compozite, catalizatori, pulberi metalice, sisteme CAD/CAM)	Technological Change: Threats and Opportunities for the U.K., Editat de Cabinet Office Advisory Council for Applied Research and Development, Londra, dec. 1979
Ford Motor Co, S.U.A.	Ameliorarea rentabilităţii	L'Usine Nouvelle nr. 45/nov 1987 p. 46
First Mississippi Corp., S.U.A.	Creşterea eficienţei producţiei prin reducerea consumurilor specifice de energie	Fertilizer International nr. 239/20 nov 1986 p. 18
W. R. Grace, S.U.A.	Reducerea dependenţei economice faţă de conjunctura ciclică a pieţei prin diversificarea producţiei	Fertilizer International nr. 240/4 dec. 1986 p. 10—15
Combinatul textil Vela-Peevo R.P. Bulgaria	Obţinerea de produse cu performanţe calitative ridicate (peste 99% calitate superioară)	Revista Economică nr. 44/30 oct 1987 p. 20
Technipétrol, Franţa	Produse de calitate superioară	
James River Graphics, S.U.A.	Creşterea nivelului calitativ al produselor	
Aérospatiale, Franţa	Pregătirea producţiei tipice după anul 2000	L'Usine Nouvelle nr. 45/5 nov 1987 p. 12.

Scanned with OKEN Scanner

Schimbările posibile din spațiul economic exterior determină adaptări, corectări, alegeri de noi obiective strateigce, activitate continuă, de „rutină" a compartimentului de conducere, care, în acest caz, evoluează de la o structură mai simplă (fig. 2.1), la una mai complexă (fig. 2.2) și care-i permite reevaluarea continuă a propriilor obiective strategice, calitate a conducerii strategice, ce a făcut pe Akio Morita, din conducerea firmei japoneze SONY, să afirme; „forța unui grup industrial se măsoară acum prin capacitatea sa de a-și modifica foarte rapid propria strategie" [7].

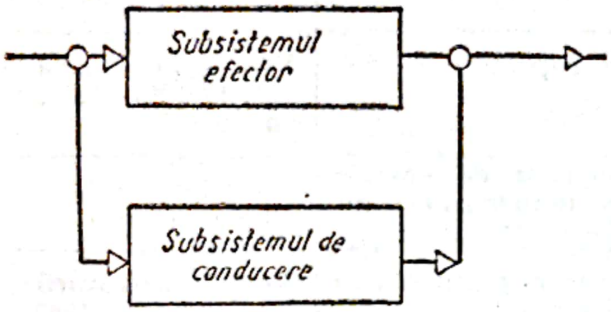


Fig. 2.1. Sistemul de conducere a sistemelor de fabricație cu un singur subsistem de conducere.

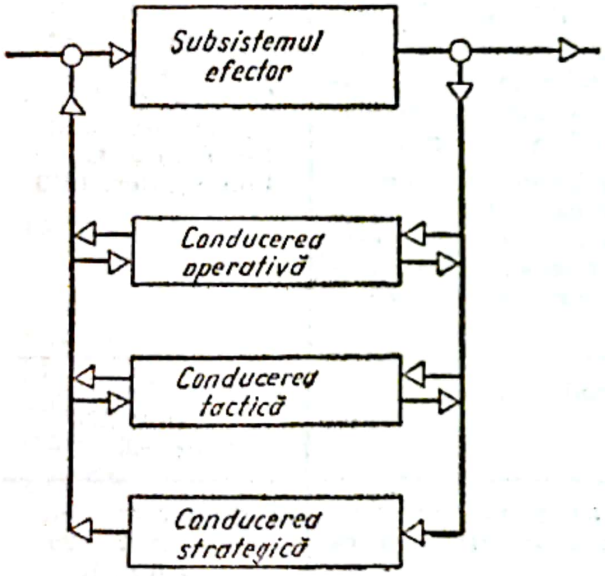


Fig. 2.2. Sistemul de conducere a proceselor de fabricație cu compartimente diferite pentru conducerea operativă, tactică și strategică.

Particularizînd la sistemele de fabricație din țara noastră, stabilirea obiectivelor strategice și alegerea orizonturilor de timp pentru cncretizarea acestora în practica industrială sînt facilitate de sistemul planificat al economiei naționale, care se constituie, astfel, ca principal factor favorizant pentru stabilirea obiectivelor strategice de dezvoltare, de la nivelul economiei naționale și pînă la nivelul unităților de producție.

În România obiectivele strategice la nivelul întregii economii și al întreprinderilor industriale nu pot fi decît de creștere, de dezvoltare. Această dezvoltare, bazată pînă acum pe acumulare (creșterea volumului producției și a volumului vînzărilor), începe să fie determinată și de nivelul de organizare și de valorificare a potențialului propriu de creație științifică și tehnică, care, alături de introducerea progresului tehnic, constituie factorii de bază ai dezvoltării economiei românești.

Principalii indicatori ai dezvoltării economiei naționale și ai întreprinderilor industriale trebuie să creeze întreprinderii capacitatea de a-și exercita controlul asupra strategiei, prin reconsiderarea continuă a obiectivelor stabilite (*feed-back*-ul activității de conducere), prin întocmirea și refacerea programelor de măsuri — la nivelul conducerii tactice, compararea acestora cu disponibilitatea factorilor de producție, prelucrarea datelor provenite din exteriorul sistemului de fabricație etc. Adaptarea activității economice a întreprinderii la funcționarea în condiții de competitivitate și eficență economică trebuie să fie urmarea obiectivelor strategice proprii pentru evoluția fabricației.

Dacă orientările strategice generale, la nivelul economiei naționale, conțin elemente comune ce se regăsesc pînă la nivelul întreprinderilor

Scanned with OKEN Scanner

industriale, la conturarea obiectivelor proprii acestora intervin, cu ponderi diferite și factori de tipul următor:

— Reducerea continuă a duratei de viață economică a produselor și tehnologiilor, constatare ce obligă la o corelare a eforturilor cercetare-dezvoltare paralel cu activitatea de producție. Orientarea activității de cercetare-dezvoltare începe să se facă cu precădere către produse și tehnologii originale, capabile să asigure disponibilitățile financiare implicate în susținerea acestei activități, care a ajuns să reprezintă 5—15% din valoare producției industriale; sugestiv pentru gradul de înnoire a nomenclatorului de producție este cazul industriei chimice: pe piețele Europei erau comercializate în anul 1987 cca 95 000 produse, iar 100 000 se găseau în curs de cercetare [8].

— Creșterea duratei de timp corespunzătoare dezvoltării noilor produse și tehnologii, ceea ce presupune compararea continuă a eforturilor cu efectele preconizate în timp util economic. Neconcordanțele dintre reducerea timpului economic de viață a produselor sau tehnologiilor și timpul de elaborare a altora noi se încearcă a se rezolva prin conceperea de instalații polifuncționale, sisteme flexibile de fabricație etc.

— Necesitatea reducerii (anulării) decalajului dintre nivelul performanțelor tehnice și economice ale produselor sau tehnologiilor proprii și cele de referință pe plan mondial. Evident că nu toate produsele și tehnologiile pot fi supuse procesului de modernizare. Acest lucru nu este posibil și nici necesar economic: produsele se găsesc în etape diferite pe curba de viață economică, inclusiv în etapa de declin comercial, după care își vor încheia ciclul de viață. Vor fi, deci, supuse procesului de modernizare numai acele produse, tehnologii utilaje, echipamente a căror necesitate derivă din obiectivele strategice prestabilite pentru evoluția procesului economic.

— Necesitatea corelării obiectivelor strategice proprii cu cele ale beneficiarilor (reali sau potențiali) produselor și serviciilor, cu ale furnizorilor de materii prime etc., ținîndu-se seama și de restricțiile impuse produselor sau tehnologiilor de normativele ce privesc protecția mediului înconjurător.

Evidențierea și a altor factori favorizanți sau restrictivi ai procesului de elaborare a obiectivelor strategice se poate face prin simularea procesului de fabricație-etapă, determinantă pentru formularea măsurilor corespunzătoare concretizării în practica industrială a obiectivelor strategice (nivelul conducerii tactice a procesului de fabricație). La selecția produselor, grupelor de produse, tehnologiilor ce se supun modernizării intervin, cu semn negativ sau pozitiv în alegerea finală, factori de tipul: tradiția în domeniul fabricației, gradul de instruire a forței de muncă, segmente de piață consolidate, disponibilul, în perspectivă, a resurselor materiale și energetice, portfoliul de tehnologii, potențialul de cercetare-dezvoltare propriu, capacitatea ecosistemului de a absorbi deșeurile poluante etc.

* * *

Specific economiei noastre este dezvoltarea industriei pe platforme de mari dimensiuni-formă de organizare optimă într-o anumită perioadă, pentru producția de mare tonaj sau serie mare (în industria prelucrării

Scanned with OKEN Scanner

țiței ului, sintezei îngrășămintelor chimice, siderurgiei etc.) Valorificarea întregului potențial al acestei forme de organizare, dezvoltarea unităților de mică și medie dimensiune care să „graviteze" în jurul marilor platforme se pot regăsi — ca obiective — în strategia de dezvoltare a platformei sau zonei economice adiacente platformei.

Platformele industriale sînt generatoare de subproduse de fabricație, de surse energetice secundare, care pot deveni resurse materiale și energetice pentru unitățile de dimensiuni mai mici ce se găsesc sau urmează a se construi în „zona de influență" a marilor platforme. Prin integrarea platformelor industriale cu unitățile din zonă se minimizează consumul de resurse, crește gradul de valorificare a materiilor prime și resurselor energetice, se amplifică activitatea industrială în condiții de eficiență economică.

În cadrul acestei integrări, valorificarea resurselor energetice secundare cu parametri termodinamici reduși (apă caldă) poate fi făcută la termoficarea așezărilor urbane, la încălzirea serelor în agricultură, în procese de uscare, distilare, pasteurizare în industria alimentară, ceramică, prelucrării lemnului etc. [9].

Corelarea obiectivelor strategice la nivelul platformei cu cele ale unităților din teritoriul adiacent acestora este etapa critică pe graful integrării reale și eficace, deoarece autoritatea administrativ-teritorială (conducerea strategică) trebuie să aibă putere de decizie în domeniul economic, mijloace corespunzătoare realizării măsurilor de integrare și, bineînțeles, un compartiment funcțional pentru conducerea strategică a economiei zonale.

Stabilirea obiectivelor, elaborarea măsurilor corespunzătoare acestora, reevaluarea obiectivelor și adaptarea acțiunilor pe măsura evoluției sistemului de fabricație, răspunsul la influența semnalelor (perturbațiilor) provenite din interiorul și mai ales din exteriorul sistemului presupune nu numai o foarte bună organizare a subsistemului de conducere (privit prin cadrul legislativ actual, prin nivelul tehnic al infrastructurii de fabricație, prin existența bazei de date sau de cunoștințe — *engineering knowledge* — prin calitatea echipamentului de reglare și control, prin nivelul de pregătire al personalului, de motivațiile socio-profesionale ale acestuia etc.), dar și o metodologie a alegerii strategiei de dezvoltare [10].

Pe o schemă logică (fig. 2.3) se poate observa complexitatea informațiilor necesare stabilirii unei strategii de dezvoltare (sau de evoluție), complexitate justificată de importanța obiectivelor ce asigură supraviețuirea economică a unei întreprinderi pe termen mediu sau lung. Greșelile sînt, de cele mai multe ori, ireversibile, din cauza dinamicii alerte a proceselor similare, ritmul înnoirilor fiind precumpănitor în asigurarea competitivității produselor, serviciilor, în condiții de eficiență economică.

Reevaluarea obiectivelor, evitarea „aritmiilor" de-a lungul procesului de înnoire, presupun o funcționare corectă a feed-back-ului sistemului de conducere și grad ridicat de certitudine a prognozelor. Schema din fig. 2.3 reliefează ponderea importantă a informațiilor în întreg procesul de conducere, particularizat și în capacitatea de a-l modela, ca prin simulare să se rețină numai măsurile (variantele) cele mai potrivite pentru realizarea rapidă a obiectivelor.

Scanned with OKEN Scanner

Regăsim în schema logică a elaborării strategiei de dezvoltare relația: conducere strategică (obiective) — conducere tactică (programe) —

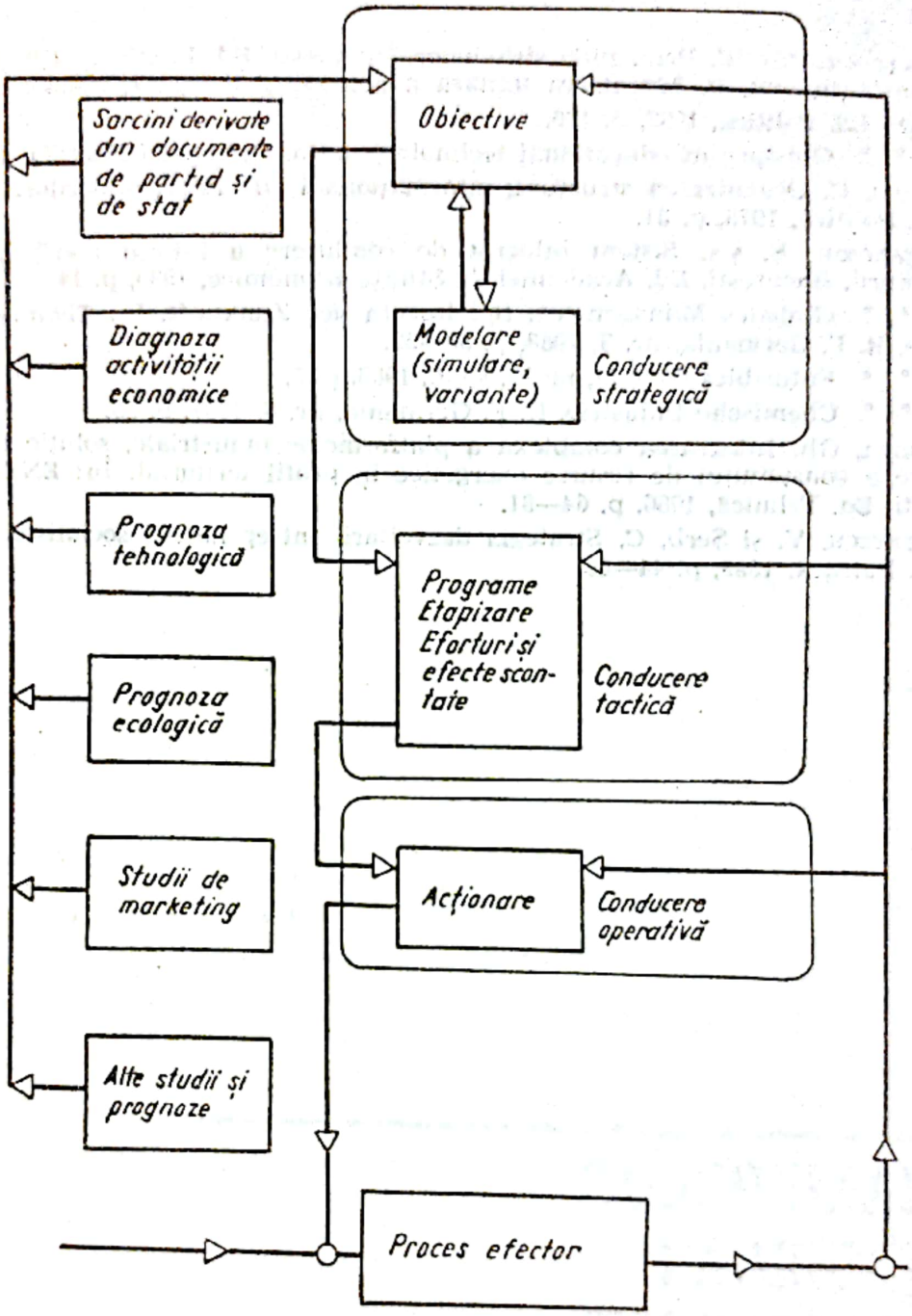


Fig. 2.3. Schema logică a stabilirii strategiei de evoluție a unui sistem efector.

conducere operativă (acțiuni), al cărei domeniu de existență este marcat de informații provenite din compartimentele de marketing, cercetare-dezvoltare, ecosistem etc. și care caracterizează astăzi structura din ce în ce mai complexă a sistemelor de fabricație.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Forrester, Jay W. Principiile sistemelor. București, Ed. Politică, 1979, p. 138—145.
2. Constantinescu, P. Modelarea unitară a genezei și dezvoltării sistemelor, București, Ed. Politică, 1983, p. 135.
3. * * * Glossary of educational technology terms, Elveția, UNESCO, 1984, p. 229.
4. Russu, C. Organizarea structural-informațională a întreprinderilor. București, Ed. Politică, 1978, p. 31.
5. Țigănescu, E. ș.a. Sistem integrat de conducere a întreprinderilor, centralei, ramurii. București, Ed. Academiei de Științe Economice, 1985, p. 14.
6. * * * Globales Management: Spielregeln der Zunkunft. In: Chemische Industrie, R. F. Germania, nr. 3, 1988, p. 50—52.
7. * * * Futuribles Olanda, nr 91, sept., 1985, p. 5.
8. * * * Chemische Industrie. R. F. Germania, nr. 8, 1987, p. 25.
9. Manea, Gh. Integrarea complexă a platformelor industriale, soluție de minimizare a consumului de resurse energetice în profil teritorial. În: ENERG, București, Ed. Tehnică, 1986, p. 64—81.
10. Cornescu, V. și Șerb, C. Strategia dezvoltării întreprinderii socialiste. București, Ed. Politică, 1989, p. 44—69.

Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

II

MODERNIZAREA FABRICAȚIEI ȘI PRODUSELOR

Scanned with OKEN Scanner

3
Depunerea materialelor prin pulverizare termică

Ing. *Valentin Tomescu*
ICTCM — București

Procesul tehnologic de depunere a materialelor prin pulverizare termică este un procedeu cu largi aplicații în industrie, care constă din topirea prin intermediul a diferite surse de energie și pulverizarea cu ajutorul unui jet de gaze a unor particule de material de adaos pe suprafața care se acoperă.

Atenția considerabilă ce i se acordă în prezent acestui procedeu care sporește în mod continuu se datorește pe de o parte dezvoltării impetuoase a tehnicii contemporane în direcția creșterii productivității, ceea ce pretinde realizarea de viteze mereu mai ridicate ale organelor de mașini, iar pe de altă parte crizei de materii prime. Aceste condiții pretind introducerea de măsuri care să asigure creșterea rezistenței la uzură, la temperaturi înalte și la coroziune a pieselor mașinilor și utilajelor, în paralel cu reducerea consumurilor de materiale, în special de materiale deficitare. Atingerea acestor deziderate poate fi realizată pe seama îmbunătățirii proprietăților de suprafață prin utilizarea diferitelor procedee de depunere a materialelor, dintre care, datorită caracteristicilor deosebite pe care le oferă, pulverizarea termică s-a impus din ce în ce mai mult atenției specialiștilor.

1. Principalele caracteristici ale straturilor depuse prin pulverizare termică

Procesul de formare a straturilor de material prin pulverizare termică diferă în mod substanțial de alte procedee de depunere, structura stratului depus fiind cu totul alta decît cea a materialului de aport din care provine. Depunerile se formează prin lovirea succesivă a suprafeței piesei de bază de către particulele în stare topită ale materialului de adaos, care la impact se turtesc, se răcesc și se contractă. Rezultă astfel o structură de aglomerare poroasă, formată din particule ale materialului de aport înconjurate de un așa-numit „strat de cimentare" care conține oxizi ai acestuia.

Caracterul direcțional al procesului (fig. 3.1) determină obținerea unor depuneri lamelare și nonizotropice de straturi subțiri, paralele cu suprafața de încărcare (fig. 3.2).

Tensiuni interne. Datorită contractării locale prin răcire, după impactul particulei cu suprafața sînt introduse tensiuni reziduale a căror

Scanned with OKEN Scanner

repartiție, în situația în care stratul depus are un coeficient de dilatare termică mai mic decît substratul este prezentată în fig. 3.3 [6]. La încărcări pe suprafețe cilindrice exterioare piesa va suferi o solicitare de com-

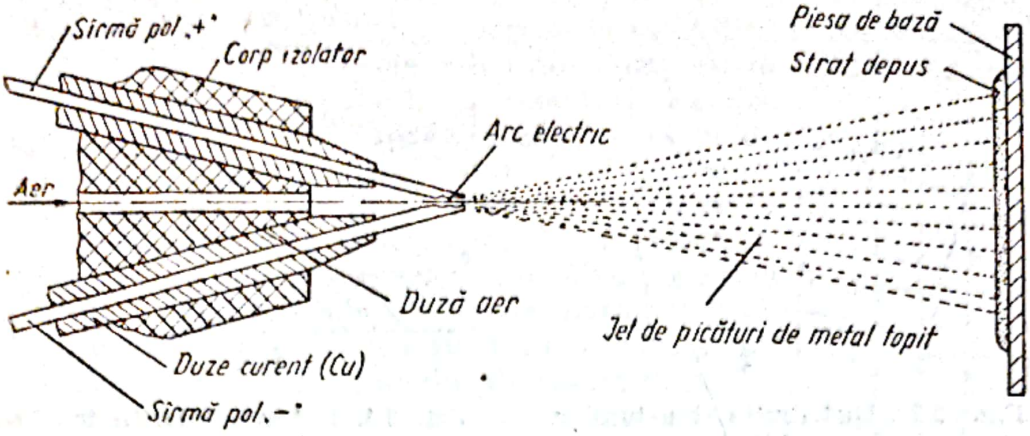


Fig. 3.1. Schema de principiu a instalației de pulverizare termică cu arc electric.

primare, iar depunerea se va afla într-o stare de tensiune remanentă, care în anumite situații poate provoca fisurarea depunerii. Aceste tensiuni pot fi diminuate sau chiar eliminate complet prin preîncălzirea piesei de bază.

Cînd depunerile sînt realizate pe suprafețe plane starea de tensiune existentă în strat poate conduce la deformarea suporturilor subțiri sau

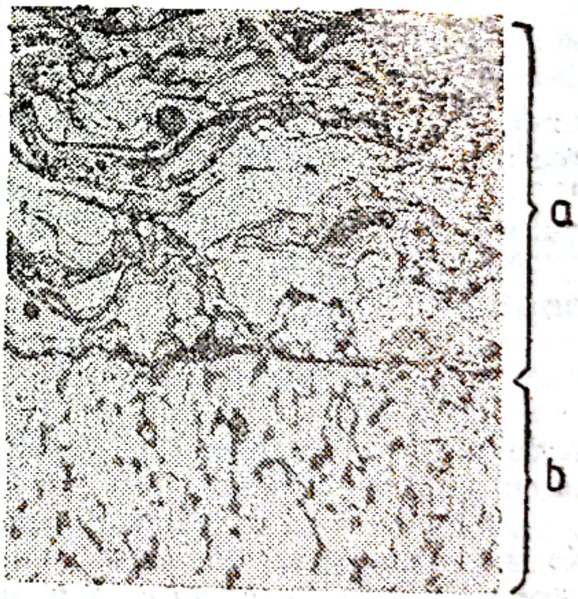


Fig. 3.2. Caracterul lamelar al straturilor depuse prin pulverizare termică (×100):
a — metal depus; *b* — metal de bază.

la desprinderea stratului la capete (fig. 3,4). Aceste neajunsuri sînt înlăturate prin alegerea materialului de bază și a celui de aport ținînd cont de coeficienții de dilatare termică, preîncălzirea suportului și adoptarea unui regim termic scăzut în timpul încărcării.

La încărcarea alezajelor trebuie ținut seama de tendința de contracție a depunerii, motiv pentru care se vor adopta cele mai bune soluții de asigurare a aderenței (pregătire a suprafeței și materiale speciale de aderență).

Scanned with OKEN Scanner

Porozitatea. Datorită modului de realizare a depunerii prin pulverizare termică se formează straturi cu o structură poroasă. Porozitatea depunerii poate fi calculată prin două metode [5]:

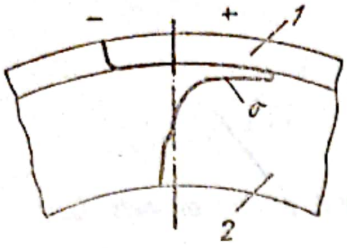


Fig. 3.3. Distribuția tensiunilor reziduale în stratul de metal depus prin pulverizare termică cu plasmă răcit la temperatura camerei, în cazul în care depunerea are un coeficient de dilatare termică mai mic decît substratul: *1* — strat depus (molibden); *2* — substrat (piesa de acoperit din oțel).

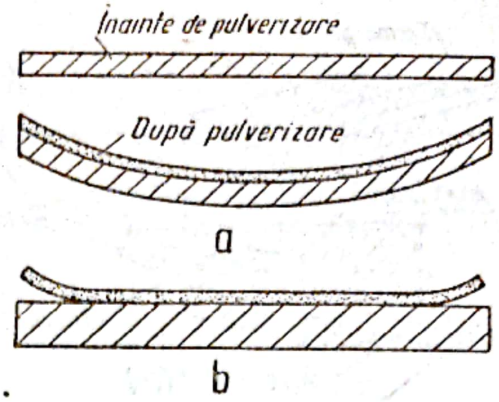


Fig. 3.4. Defecte datorită tensiunilor interne: *a* — deformarea suporturilor subțiri; *b* — desprinderea stratului depus la capetele suprafețelor plane.

1) Utilizînd metoda gravimetrică (masică), porozitatea depunerii P_m va fi dată de relația

$$P_m = \left(\frac{m_1 - m}{m}\right) 100 \qquad [\%],$$

unde: m_1 este greutatea piesei acoperită prin pulverizare după cufundarea și menținerea acesteia timp de 2 h într-o baie de ulei încălzit la 120°C; m — greutatea piesei acoperite prin pulverizare înainte de introducerea în baia de ulei.

2) Cu metoda volumetrică, porozitatea depunerii P_V va fi dată de următoarea relație:

$$P_V = \left(\frac{V_p}{V}\right) 100 \qquad [\%],$$

unde: V_p — volumul porilor deschiși și al celor interconectați; V — volumul total al piesei.

La realizarea depunerilor prin pulverizare termică se va ține seama de influența pozitivă a porozității asupra ungerii lagărelor prin alunecare și la crearea de straturi pentru barieră termică. Aceasta se datorează capacității de reținere a uleiului și conductivității termice reduse a depunerilor poroase față de cele dense.

Atunci cînd pulverizarea termică este utilizată pentru realizarea de acoperiri în scopul reducerii uzării prin frecare metal pe metal, trebuie ținut cont că în porii materialului depus pot fi reținute particule abrazive atît în timpul operației de prelucrare mecanică a stratului cît și în cursul procesului de uzare, avînd drept efect accelerarea acestuia. De asemenea, pătrunderea diverșilor agenți chimici prin pori poate genera desprinderea depunerii. Acest fenomen poate fi preîntîmpinat prin depu-

Scanned with OKEN Scanner

nerea de straturi cu grosimi mari sau prin închiderea porilor cu diverse rășini, împiedicînd — prin ambele metode — pătrunderea agenților chimici pînă la suprafața de contact dintre piesa de bază și depunere.

Aderența dintre particulele depuse și suprafața materialului de bază este datorată acțiunii conjugate a unui complex de factori ca ancorare mecanică, atracție moleculară, microsudări. Ea depinde de natura materialului de bază și a celui de aport, macro și microgeometria suprafeței de încărcare, metodele și regimul de lucru la prelucrările de pregătire a suprafeței în vederea încărcării și cea finală după depunere, temperatura de încălzire a piesei de bază, starea de curățenie a acesteia, parametrii de pulverizare utilizați, grosimea stratului depus, puritatea gazului de pulverizat, modul de răcire după încărcare , natura mediului de lucru și temperatura acestuia.

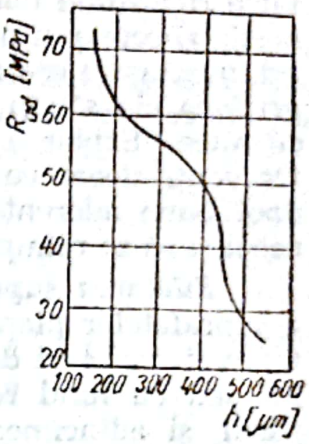


Fig. 3.5. Dependența rezistenței aderenței în funcție de grosimea stratului depus.

În fig. 3.5 [3] este prezentată dependența rezistenței aderenței R_{ad} în funcție de grosimea stratului depus. Se observă că pe măsura creșterii grosimii depunerii realizate prin pulverizare termică, aderența scade deoarece cresc tensiunile interne.

Pentru obținerea unei bune aderențe a particulelor pulverizate, suprafața de acoperit trebuie pregătită în mod corespunzător. Asigurarea posibilității de ancorare mecanică solidă și sigură necesită o suprafață rugoasă , iar realizarea celorlalte tipuri de legături care controbuie la sporirea aderenței solicită în principal ca suprafața să fie curată, fără urme de ulei sau grăsimi. Metodele de asigurare a aderenței constau deci în: a) curățarea piesei de ulei, grăsimi și alte impurități; b) crearea de rugozități pe suprafața de încărcare; c) depunerea de straturi de aderență cu materiale speciale (pulverizare cu strat intermediar); d) preîncălzirea materialului de bază.

a) Uleiurile, grăsimile și orice alte impurități trebuie îndepărtate nu numai de pe suprafețele de acoperit ci de pe întreaga piesă. Acest lucru este necesar deoarece în timpul procesului de depunere ele pot ajunge pe suprafețele de acoperit, compromițînd aderența.

Îndepărtarea uleiurilor și grăsimilor se execută de obicei prin operații de spălare-degresare, cu apă și apoi cu solvent organic (tiner, acetonă, tricloretilenă etc.), în băi speciale (se pot utiliza suplimentar și ultrasunetele) sau pe bancul de lucru cu pensula și laveta.

Atunci cînd piesele sînt poroase și impregnate cu ulei, eliminarea acestuia se poate face prin ardere, încălzind piesa în cuptor sau cu arzătoare cu flacără de gaz la o temperatură de aproximativ 300°C.

b) Experiența practică a demonstrat că dacă prima și cea mai importantă condiție pentru realizarea unei bune aderențe este cea a curățeniei suprafeței, aceasta nu poate fi totuși concepută fără crearea de asperități. Obținerea unei suprafețe rugoase care să permită o bună aderență prin pătrunderea particulelor de material pulverizat printre asperitățile suprafeței de bază se poate realiza prin mai multe metode tehnologice: sablare, filetare, înfășurare cu sîrmă, asperizare electrică.

Sablarea are loc prin lovirea suprafeței de bază cu diverse particule de nisip, corindon, alice de oțel sau fontă, cărora le este imprimată o viteză foarte mare, de obicei cu ajutorul aerului sub presiune sau prin

Scanned with OKEN Scanner

centrifugare. Sablarea *cu nisip* prezintă avantajul utilizării unui material ieftin și foarte răspîndit. Este însă foarte puțin utilizată datorită faptului că rugozitatea obținută este mică, nisipul se sparge ușor la sablare, nu se poate recupera decît într-o mică măsură și are o acțiune nocivă asupra organismului uman. Sablarea *cu alice* din oțel sau fontă are drept rezultat o rugozitate bună din punctul de vedere al asigurării aderenței depunerii, alicele putînd fi folosite fără reîmprospătare de aproximativ 10 ori, după care cea mai mare parte din ele vor fi recuperate. Trebuie avut grijă ca ele să nu ruginească, deoarece nu se admite sablarea cu astfel de alice. Sablarea cu *coridon* (electrocorindon) este utilizată cel mai frecvent, deoarece asigură obținerea proprietăților suprafeței necesare unei bune aderențe, singurele condiții fiind ca electrocorindonul să fie uscat și să se reîmprospăteze după două-trei utilizări.

Filetarea suprafețelor cilindrice se poate realiza prin strunjire iar a suprafețelor plane prin rabotare, utilizînd o geometrie a sculei așchietoare și regimuri de lucru care să permită obținerea unui filet triunghiular sau cu fund rotunjit cu bavuri cît mai mari. Recomandări privind pasul și adîncimea filetului sînt prezentate în tabelul 3.1 (conform STAS 11684/2-83). Operația se execută dintr-o singură trecere, fără răcire, pentru a se asigura formarea unei suprafețe cît mai rugoase și pentru a evita excesul de umiditate sau impurificarea suprafeței cu substanțe grase. Uneori, pentru mărirea aderenței filetarea poate fi urmată de turtirea filetului prin randalinare [2].

Tabelul 3.1. **Recomandări privind alegerea pasului și adîncimii filetului la pregătirea suprafețelor pentru pulverizare termică**

Material de bază	Pasul mm	Adîncimea mm
Oțel	1...1,5	0,5
Fontă	2...2,5	1...3
Alte metale	1,5	1

Înfășurarea cu sîrmă (fig. 3.6) este un procedeu utilizat în tot mai mică măsură în locul filetării, la acoperirea suprafețelor cilindrice foarte dure sau pentru a se evita micșorarea rezistenței la oboseală pe care o introduce filetarea. Diametrul sîrmei d nu trebuie să depășească jumătate din grosimea stratului depus prin pulverizare. Extremitățile sîrmei se fixează prin puncte de sudură.

Asperizarea electrică se aplică pieselor cu pereți groși solicitate static și care au o duritate mare. Ea constă din aplicarea unui electrod de nichel, legat la una din bornele unei surse de curent electric alternativ, pe suprafața de pregătit, care este legată la celălalt pol al sursei. Aceasta are ca rezultat formarea unui arc electric între electrodul de nichel și suprafața piesei, datorită căruia pe suprafața acesteia din urmă apar mici cratere, care asigură rugozitatea necesară aderării materialului depus la piesa de bază.

Scanned with OKEN Scanner

În general, atît după filetare cît și după înfășurarea cu sîrmă suprafața este sablată, după care se curăță prin suflare cu aer.

c) *Depunerea unor straturi de aderență intermediare* se aplică în cazul suprafețelor netede, călite sau carburate etc., în care utilizarea altor metode de pregătire este dezavantajoasă din punct de vedere tehnico-economic.

Dintre materialele speciale depuse ca straturi intermediare de aderență, cea mai largă răspîndire o are molibdenul, utilizîndu-se de asemenea Ni—Al (80—95% Ni), bronzul cu aluminiu (9% Al) sau un aliaj de Cr—Al—Fe cunoscut sub denumirea comercială de ALCRO.

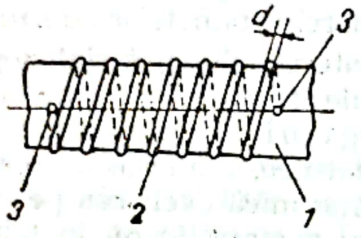


Fig. 3.6. Pregătirea suprafețelor cilindrice prin înfășurare cu sîrmă:
1 — piesa de bază; *2* — sîrma cu diametrul *d*; *3* — puncte de sudură.

Fig. 3.7. Schema determinării aderenței stratului depus prin pulverizare termică, în cazul solicitării la tracțiune, prin metoda cu adeziv:
1 — piesa de bază; *2* — strat depus; *3* — adeziv; *4* — piesa suplimentară.

d) În special la realizarea depunerilor pe suprafețe plane sau cilindrice interioare, pentru reducerea tensiunilor și asigurarea unei bune aderențe, piesa de bază trebuie preîncălzită la temperaturi cuprinse între 50—200°C. Operația se poate executa fie în cuptoare speciale fie cu arzătoare cu flacără.

Aderența este influențată în mod negativ de oxidarea suprafeței piesei și a particulelor în timpul pulverizării. Oxizii fiind mai fragili aderența scade. Gradul de oxidare depinde în principal de natura metalului de aport, metoda de pulverizare, distanța de la sursa de topire la piesa de bază, presiunea aerului comprimat și diametrul duzei de aer.

Pentru reducerea oxidării este recomandabil să se utilizeze metale de adaos cu un conținut mărit de elemente dezoxidante (în special mangan) și creșterea conținutului de carbon.

Verificarea aderenței se poate realiza în mai multe moduri, pe epruvete speciale pe care depunerea a fost făcută în același timp și cu aceiași parametri ai regimului de lucru ca și pe piesa de bază. Printre cele mai uzuale metode sînt încercarea la tracțiune cu știft sau cu adeziv, încercarea la forfecare cu sau fără adeziv, încercarea la încovoiere și încercarea prin zgîriere. De exemplu, conform STAS 11684/3-83, pe baza rezultatelor obținute prin încercarea la tracțiune utilizînd metoda cu adeziv (fig. 3.7) se determină rezistența aderenței la tracțiune

$$R_{ad} = \frac{F_{max}}{S} \quad [N/mm^2],$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: F_{max} — forța maximă de tracțiune aplicată epruvetei, în N; S — aria secțiunii transversale a epruvetei în porțiunea acoperită, în mm².

Duritatea. Datorită ecruisării stratului superficial în momentul impactului și ca urmare a formării constituenților de călire la oțeluri, straturile depuse prin pulverizare termică sînt caracterizate în general printr-o duritate mare.

Duritatea straturilor depuse este influențată de o serie de factori ca: presiunea aerului comprimat, conținutul de carbon, temperatura stratului depus după terminarea pulverizării și distanța de pulverizare.

În ceea ce privește influența distanței de pulverizare s-a constatat că durităților cele mai mari se obțin pentru distanțe de pulverizare de 90—100 mm.

Rezistența la compresiune. Aceasta depinde de distanța de pulverizare, presiunea aerului comprimat și diametrul duzei de aer. În general straturile depuse prin pulverizare termică se comportă bine la compresiune, dar nu pot fi utilizate în cazul unor sarcini punctiforme sau lineare.

Rezistența la tracțiune. Deoarece straturile de material depus sînt constituite dintr-un conglomerat de particule de diferite forme și dimensiuni, solidificate și legate între ele prin legături de tip mecanic, moleculare și microsudări care nu sînt foarte puternice, materialul depus are o rezistență la tracțiune redusă, de 2—3 ori mai mică decît cea pe care același material o are în stare turnată. Pentru exemplificare, în tabelul 3.2 sînt prezentate rezultatele încercării rezistenței la tracțiune a straturilor de nichel, crom, molibden ș iwolfram depuse pe aluminiu și pe oțel [3].

Tabelul 3.2. **Rezistența la tracțiune a depunerilor prin pulverizare termică pe aluminiu și oțel**

Materialul de bază	Materialul depus	Rezistența la tracțiune, MPa
Aluminiu	Nichel	13,7
	Crom	13,7
	Molibden	22,6
Oțel	Nichel	5,8
	Crom	6,8
	Molibden	19,6
	Tantal	14,7
	Wolfram	24,5

Experiențele realizate au demonstrat că rezistența la tracțiune a straturilor depuse prin pulverizare termică este influențată de natura materialului de aport, metoda de pulverizare și utilajul folosit, distanța de pulverizare, modul de pregătire a suprafeței, porozitatea stratului depus, presiunea și debitul aerului comprimat precum și de procentul de oxizi care se formează.

2. Procedee de pulverizare termică

Tehnologiile de depunere a materialelor prin pulverizare termică se pot clasifica în funcție de mai multe criterii: după purtătorul de ener-

Scanned with OKEN Scanner

gie, după tipul sau natura materialului de adaos, după scopul urmărit și după modul de execuție.

În fig. 3.8 este prezentată o clasificare detaliată a procedeelor de pulverizare termică în funcție de purtătorul de enenrgie termică precum și de tipul materialului de aport. Deoarece proprietățile straturilor depuse depind în mare măsură de sursa de energie termică utilizată, în continuare se vor prezenta tehnologiile de depunere a materialelor prin pulverizare termică în funcție de tipul purtătorului de energie.

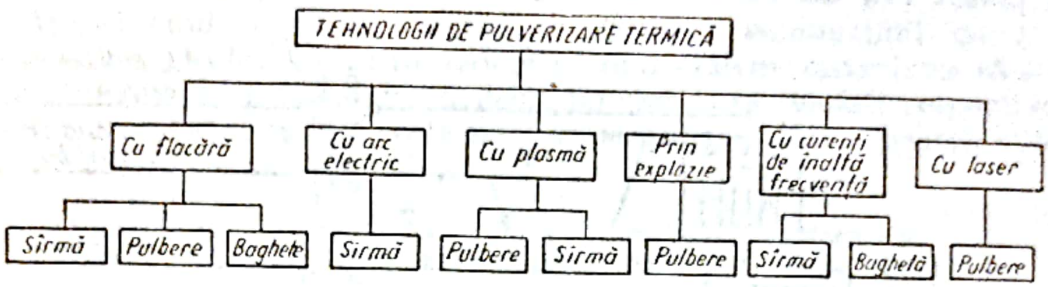


Fig. 3.8. Clasificarea tehnologiilor de pulverizare termică în funcție de sursa de energie termică și de tipul materialului de aport.

Pulverizarea termică cu flacără. A fost prima metodă de pulverizare aplicată în industrie. Este un procedeu relativ simplu, valoarea utilajului și cheltuielile de exploatare fiind mici (totuși ceva mai ridicate decît în cazul pulverizării cu arc electric). Ea prezintă de asemenea avantajul utilizării ca material de adaos atît a sîrmelor sau baghetelor cît și a pulberilor metalice sau ceramice, straturile depuse fiind omogene și cu o duritate și densitate superioară celor obținute prin pulverizarea cu arc electric.

Procedeele de pulverizare cu flacără diferă atît în funcție de natura materialului pulverizat cît și în funcție de gazul combustibil folosit.

Metoda pulverizării cu flacără a sîrmei este similară cu metoda pulverizării cu flacără a baghetelor. În ambele cazuri, materialul de pulverizat (sub formă de baghetă sau sîrmă) avansează prin alezajul central al pistolului de pulverizare și este topit la ieșirea din acesta de către flacără. Particulele de material topite sînt antrenate de un jet de aer comprimat și pulverizate fin pe suprafața materialului de bază. Sîrmele sau baghetele sînt antrenate în mișcare de avans prin tragere de către un sistem de role care primește mișcarea de rotație, prin intermediul unui reductor, fie de la o turbină acționată cu aer comprimat, fie de la un motor electric. Atunci cînd sîrma sau bagheta sînt antrenate de către turbina de aer, pistolul de pulverizare este compact și are o masă redusă, fiind mai ușor de manevrat în cazul pulverizării manuale. Această soluție este însă dezavantajoasă datorită faptului că viteza de avans a sîrmei nu poate fi menținută constantă. În cazul acționării cu motor electric, viteza poate fi reglată mai exact și menținută constantă la valoarea dorită, însă cresc considerabil gabaritul și masa pistolului de pulverizare. În fig. 3.9 este prezentată schema unei instalații de pulverizare termică cu flacără a sîrmei. Rolul reductorului de presiune din această schemă este de a regla presiunea aerului comprimat care vine de la rețea.

În afara metodelor de antrenare prezentate mai înainte, avansul sîrmei se mai poate obține prin împingere, cînd motorul și reductorul de turație nu mai sînt plasate pe pistolul de pulverizare, ceea ce permite

Scanned with OKEN Scanner

realizarea unui pistol compact și ușor, sau combinat, prin tragere și împingere, cînd se utilizează două motoare electrice, unul amplasat pe pistol și celălalt pe traseul sîrmei.

De regulă se utilizează sîrme cu diametre sub 3 mm. Totuși, în cazul în care sînt pulverizate materialele ușor fuzibile ca aluminiu, zinc etc., în scopul creșterii productivității procesului pot fi folosite și sîrme cu diametre de 5—7 mm [3].

Atunci cînd materialul de pulverizat este sub formă de pulbere, el este plasat într-un buncăr situat pe partea superioară a pistolului de

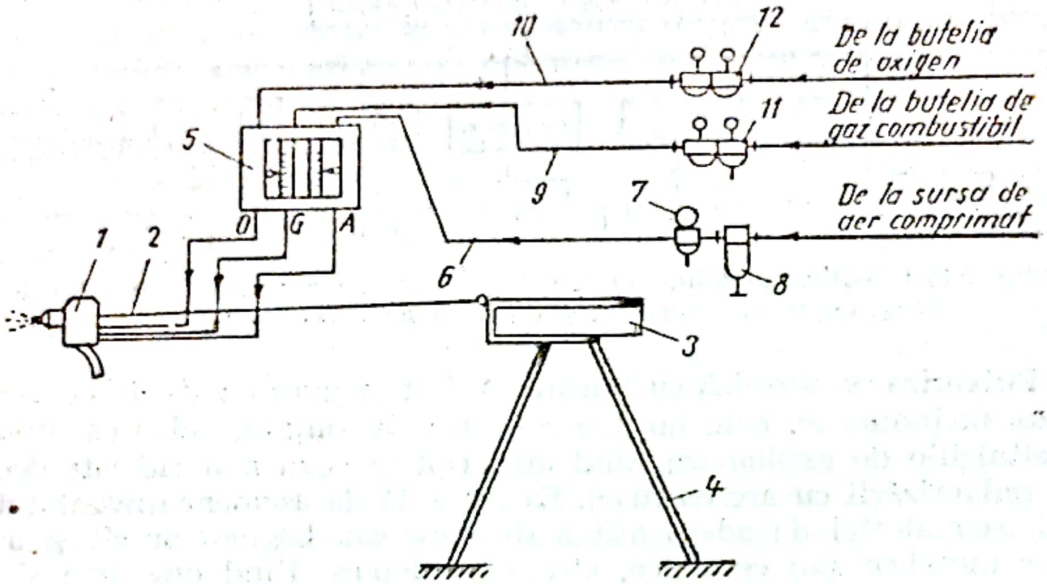


Fig. 3.9. Schema unei instalații pentru pulverizarea termică cu flacără de gaz a sîrmei.

1 — pistol pentru pulverizarea termică cu flacără de gaz a sîrmei; *2* — sîrmă; *3* — dispozitiv de rulare a sîrmei; *4* — suportul sîrmei; *5* — panou de gaze cu regulator de debit; *6* — conducte de admisie a aerului comprimat; *7* — reductor de presiune a aerului comprimat; *8* — filtru de aer; *9* — conducte de admisie a gazului combustibil; *10* — conducte de admisie oxigen; *11* — reductor de presiune a gazului combustibil; *12* — reductor de presiune oxigen; *A* — aer comprimat; *G* — gaz combustibil; *O* — oxigen.

pulverizare. De aici el cade, sub acțiunea propriei sale greutăți, printr-un orificiu și ajunge în pistol unde este antrenat de curentul de gaz (oxigen sau aer comprimat), la ieșirea din pistol pătrunzînd în flacără unde este topit. Ca și la pistoalele de pulverizare a sîrmei sau baghetelor, particulele topite sînt proiectate pe suprafața piesei de acoperit de către un jet de aer comprimat.

În calitate de gaz combustibil, în majoritatea cazurilor se folosește acetilena. Dintre celelalte gaze combustibile care mai pot fi folosite, cel mai des sînt utilizate propanul sau hidrogenul. Atunci cînd este utilizat hidrogenul, straturile depuse au calități superioare celor obținute prin utilizarea acetilenei, dar crește costul procedeului.

În condițiile arderii complete a acetilenei în prezența oxigenului are loc următoarea reacție chimică:

$$2C_2H_2+5O_2=4CO_2+2H_2O+1\,262{,}86\ [kJ].$$

Aceasta înseamnă că pentru arderea completă a unei părți de masă a acetilenei sînt necesare 2,5 părți de masă de oxigen. În practică se

Scanned with OKEN Scanner

folosește însă un raport oxigen—acetilenă de 1,1, rezultînd astfel o flacără neutră deoarece în timpul arderii, în amestecul combustibil pătrunde și oxigen din aer. Imediat la ieșirea din duză flacăra va avea un caracter reducător (dat fiind raportul oxigen acetilenă) pentru ca în mijlocul ei, datorită pătrunderii oxigenului din aerul înconjurător să se producă arderea completă a acetilenei. În cazul utilizării aerului comprimat pentru antrenarea particulelor topite, flacăra poate avea un caracter oxidant, datorat excesului de oxigen.

Atunci cînd se utilizează un alt amestec combustibil decît oxigen—acetilenă, trebuie avut în vedere ca materialele pulverizate să aibă o temperatură de topire mai joasă decît temperatura flacării respective. În tabelul 3.3 sînt prezentate valorile temperaturii flăcării pentru diferite tipuri de amestecuri combustibile.

Tabelul 3.3. **Temperatura flăcării diferitelor amestecuri de gaze combustibile**

Amestecul de gaze combustibile	Temperatura °C
Oxigen —acetilenă	3100
Oxigen — butan	3100
Oxigen — propan	2760
Oxigen — hidrogen	2700
Oxigen — gaz lampant	2000
Aer — acetilenă	2325
Aer — hidrogen	2055
Aer — gaz lampant	1530

Pulverizarea termică cu arc electric. Este în prezent cel mai utilizat procedeu de depunere a materialelor prin pulverizare.

În fig. 1 este prezentată schema pulverizării cu arc electric cu utilizarea aerului comprimat pentru transportul particulelor pe suprafața piesei de bază. După cum se poate observa din figură cele două sîrme de pulverizat sînt antrenate cu o viteză constantă prin două canale ale pistolului de pulverizat astfel încît ele se întîlnesc chiar pe axa duzei prin care este suflat aerul comprimat. Sîrmele, cu diametre de 1,5 . . . 3,2 mm, sînt legate de bornele unui redresor de sudură, între capetele lor formîndu-se un arc electric care degajă cantitatea de căldură necesară pentru topirea lor. Metalul topit este pulverizat și depus pe suprafața piesei de acoperit de către un jet de aer comprimat care iese prin duza centrală a pistolului de pulverizare.

Uneori, pentru a se evita oxidarea particulelor, în cazul depunerii unor straturi rezistente la coroziune, în locul aerului comprimat poate fi folosit azotul. Utilizarea unei surse de curent continuu asigură stabilitatea procesului, ceea ce are ca rezultat obținerea unei structuri cu o granulație fină a stratului de acoperire și o productivitate ridicată. De aceea în prezent, pentru pulverizarea cu arc electric sînt utilizate surse de curent continuu cu tensiune stabilă cu caracteristici rigide.

Antrenarea sîrmelor în mișcare de avans se poate face prin aceleași metode ca la pulverizarea sîrmelor cu flacără. În fig. 3.10 este prezentată schema unui pistol pentru pulverizare termică cu arc electric, cu mecanism de tragere a sîrmei acționat cu motor electric. Motorul electric *1* pune în mișcare un reductor de turație *2*, de la care prin intermediul unui

Scanned with OKEN Scanner

angrenaj cilindric *3* și a unui angrenaj melc-roată melcată *4; 5* mișcarea de rotație este transmisă rolelor *6* care antrenează cele două sîrme de pulverizat *10*, ce constituie materialul de adaos. Ele sînt în legătură cu bornele electrice *11*, astfel încît după ce sînt dirijate prin ghidajele *9* formează în punctul lor de contact un arc electric cu o temperatură foarte ridicată.

La aceste temperaturi înalte vîrfurile sîrmelor sînt topite, picăturile de metal astfel formate fiind pulverizate de aerul comprimat care iese printr-o duză situată la capătul conductei de aer *7*.

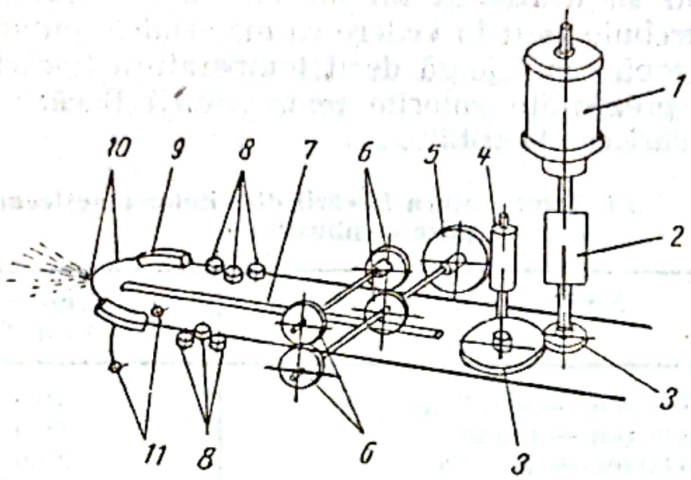


Fig. 3.10. Schema unui pistol pentru pulverizare termică cu arc electric cu mecanism de tragere a sîrmei acționat cu motor electric:

1 — motor electric de antrenare a sîrmelor; *2* — variator de turație; *3* — roți dințate cilindrice; *4* — melc; *5* — roată melcată; *6* — roți de antrenare a sîrmelor; *7* — conductă de aer; *8* — role de ghidare a sîrmelor; *9* — sistem de ghidare a sîrmelor; *10* — sîrme pentru pulverizare termică; *11* — borne de alimentare cu curent electric.

Prin topirea metalului arcul electric se întrerupe, pentru ca datorită avansării sîrmelor să se formeze din nou. El are deci un caracter periodic, momentele de topire a metalului de aport fiind urmate de întreruperi ale acestui proces. Frecvența întreruperilor depinde de tipul curentului electric (continuu sau alternativ), putînd ajunge la aproximativ 100 de întreruperi pe secundă.

Intensitatea curentului electric de lucru se determină cu relația

$$I = d\sqrt{\frac{(1+\varphi)\, nQ_0 v}{R}},$$

unde: d este diametrul sîrmelor de aport; φ — raportul dintre cantitatea de căldură necesară pentru topirea metalului și cea consumată pentru încălzirea conului de aer; Q_0 — cantitatea de căldură necesară pentru topirea unității de volum a sîrmei; n — numărul sîrmelor; v — viteza de avans a sîrmelor; R — rezistența electrică a sîrmelor [2].

Datorită temperaturii înalte a arcului electric, în cazul pulverizării termice cu arc electric pot fi depuse materiale a căror temperatură de topire este mai ridicată decît a celor care pot fi depuse cu flacără. Un alt *avantaj* al pulverizării cu arc electric este oferit de productivitatea

Scanned with OKEN Scanner

superioară altor procedee. De exemplu, la pulverizarea oțelului, utilizînd o intensitate a curentului electric de 750 A se pot pulveriza 36 kg/h, iar zincul se poate pulveriza la o intensitate a curentului electric de 500 A într-o cantitate de 72 kg/h. De asemenea, acoperirile obținute prin pulverizare cu arc electric au o aderență mai bună, iar atunci cînd sînt folosite sîrme din metale diferite, procedeul oferă posibilitatea depunerii de pseudoaliaje.

Dintre *dezavantaje* trebuie remarcat faptul că în cazul unei viteze mici de avans a sîrmelor poate avea loc supraîncălzirea și oxidarea materialului pulverizat. În plus, datorită cantității mari de căldură degajate de arcul electric apare fenomenul arderii elementelor de aliere din aliajul pulverizat. De exemplu, conținutul carbonului în materialul depus se reduce cu pînă la 40—60%, iar al siliciului și manganului cu pînă la 10—15% [3].

Pulverizarea termică cu plasmă. Introducerea la începutul anilor șaizeci a tehnologiei pulverizării termice cu plasmă a lărgit considerabil domeniile de aplicare ale depunerii materialelor prin pulverizare termică. Utilizarea plasmei oferă două avantaje majore: creșterea substanțială a temperaturii de pulverizare (pot fi obținute în mod curent temperaturi de aproximativ 16 500°C) și atmosfera controlată în care are loc pulverizarea, ceea ce împiedică formarea peliculei de oxizi pe suprafața particulelor de metal topite.

Plasma este un gaz în care majoritatea atomilor și moleculelor sînt ionizate, numărul sarcinilor electrice negative (electroni liberi și ioni negativi) este egal cu numărul sarcinilor electrice pozitive (ioni pozitivi), gazul fiind neutru în ansamblul său.

Drept gaze de lucru sînt folosite de obicei azotul sau argonul, la care se poate adăuga în diferite proporții hidrogen. Pentru aplicații obișnuite, la care temperaturile nu depășesc valori de 4 400°C poate fi folosit azotul, care este mai ieftin. Un amestec de 90% azot, 10% hidrogen asigură creșterea temperaturii și îmbunătățirea transferului de căldură, hidrogenul acționînd totodată și ca agent dezoxidant. Argonul sau alte gaze utilizate în locul azotului duc la obținerea unor depuneri cu calități superioare, dar sporesc totodată și costul procedeului.

Principiul metodei pulverizării termice cu plasmă constă în încălzirea pînă la topire a materialului de depus (care poate fi sub formă de sîrmă sau pulbere) într-un jet de plasmă care are în același timp și rolul de a-l antrena spre piesa de bază. În cazul pulverizării sîrmei se utilizează arcul de plasmă, sîrma de pulverizat constituind anodul. În cazul pulverizării pulberii se folosește jetul de plasmă, pulberea fiind introdusă în acesta în direcție radială, printr-unul sau mai multe orificii (fig. 3.11) [1].

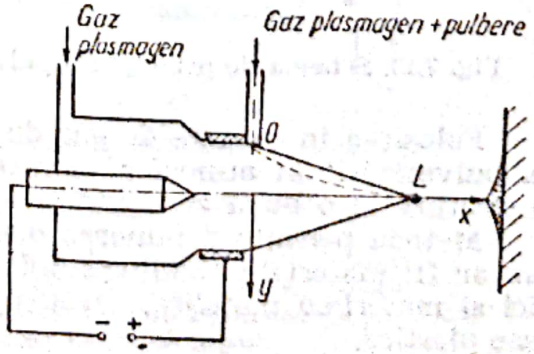


Fig. 3.11. Traiectoria granulelor de pulbere în jetul de plasmă.

Scanned with OKEN Scanner

Schema unei instalații de pulverizare cu plasmă este prezentată în fig. 3.12. În fig. 3.13 este prezentată schema unui pistol de pulverizare cu plasmă a pulberii [4]. După cum se poate observa acesta este mult mai complicat din punct de vedere constructiv decît pistolul de pulverizare cu flacără de gaz sau cel cu arc electric.

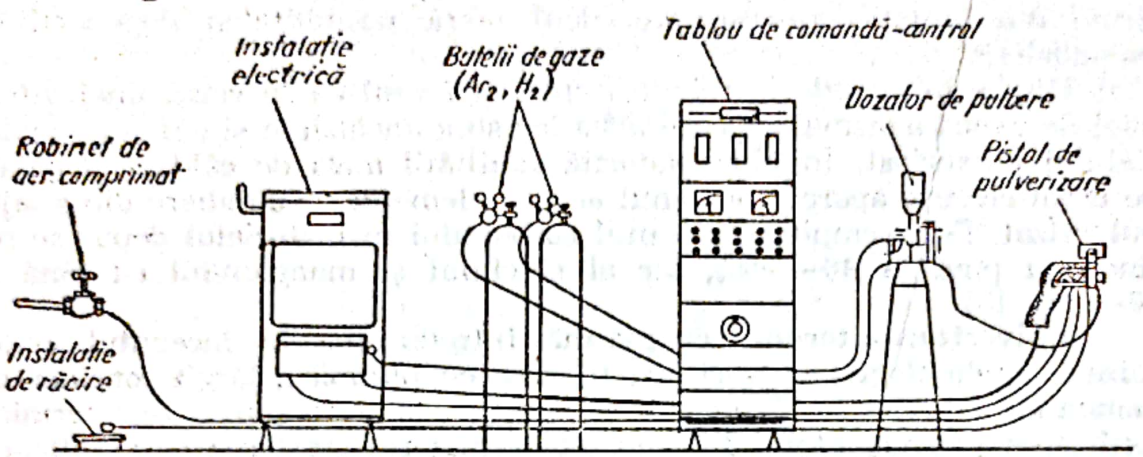


Fig. 3.12. Instalație de pulverizare cu jet de plasmă.

Majoritatea pistoalelor de pulverizare cu plasmă utilizate în prezent în industrie lucrează la puteri între 25—50 kW și presiuni ale gazului plasmagen de 3—4 atm [8]. Gama acestora este însă mult mai largă, existînd atît miniarzătoare cu lungimi constructive de 25 mm, cît și instalații de pulverizare cu plasmă de 200 kW, care lucrează la presiuni de 25—30 atm [7; 8].

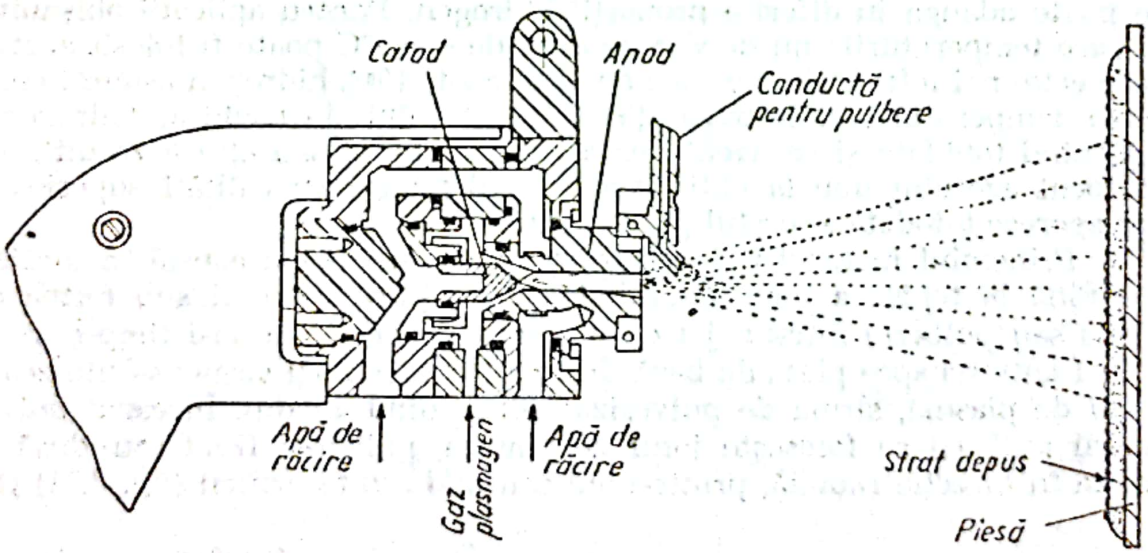


Fig. 3.13. Schema de principiu a pulverizării materialelor cu jet de plasmă.

Folosirea în calitate de gaz de lucru a gazelor inerte permite aplicarea pulverizării în atmosferă controlată, ceea ce contribuie la obținerea de straturi cu o bună aderență și o densitate înaltă (fig. 3.14).

Metoda permite depunerea unei palete extrem de largi de materiale cum ar fi: materiale metaloceramice (cermeți), amestecuri de oxizi ceramici și materiale metalice, carburi, boruri, nitrați, silicați și chiar unele mase plastice.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre dezavantajele pulverizării cu plasmă trebuie menționate randamentul relativ scăzut al procesului, nivelul de zgomot ridicat și radiațiile ultraviolete intense degajate. De asemenea, datorită costului ridicat al utilajului și a cheltuielilor mari de exploatare, metoda este rentabilă doar pentru aplicații speciale.

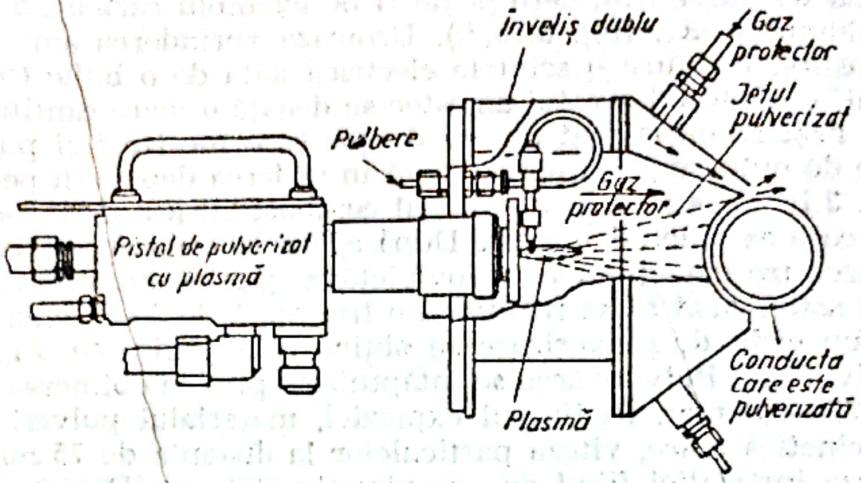


Fig. 3.14. Pulverizarea termică cu plasmă în atmosferă controlată.

Pulverizarea termică prin explozie (detonație). A fost aplicată pentru prima dată în S.U.A. în jurul anilor cincizeci, avînd drept scop creșterea vitezei cu care sînt pulverizate particulele. Schema de principiu a tehnologiei de pulverizare prin explozie este prezentată în fig. 3.15. Par-

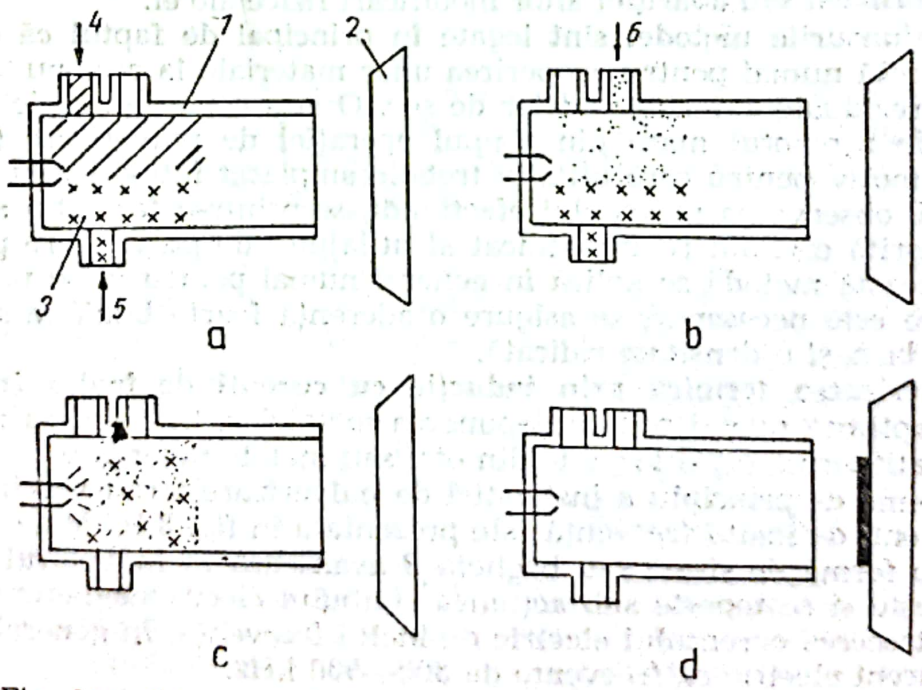


Fig. 3.15. Schema pulverizării termice prin explozie (detonație): *a* — alimentarea cu oxigen și acetilenă; *b* — alimentarea cu pulberea de pulverizat; *c* — aprinderea amestecului combustibil; *d* — realizarea depunerii.

1 — camera de răcire cu apă; *2* — piesa de acoperit; *3* — camera de ardere; *4* — duza de alimentare cu oxigen; *5* — duza de alimentare cu acetilenă; *6* — duza de alimentare cu pulberea de pulverizat și azot; *7* — stratul de material depus.

Scanned with OKEN Scanner

tea principală a instalației este constituită dintr-un cilindru de diametru nu prea mare (se utilizează de exemplu cilindri cu diametru de 25,4 mm) răcit la exterior cu apă (*1*). Acesta este îndreptat către piesa de acoperit, în el introducîndu-se oxigen și acetilenă într-un raport bine determinat (fig. 3.15, *a*). După aceea printr-o duză specială (*6*) se introduce pulberea materialului de pulverizat, care poate fi de exemplu carbură de wolfram, oxid de aluminiu, etc. (fig. 3.15, *b*). Urmează aprinderea amestecului de gaz combustibil de către o scînteie electrică dată de o bujie (fig. 3.15, *c*). Ca rezultat al exploziei acestui amestec se degajă o mare cantitate de căldură și ia naștere un curent de aer de șoc care încălzesc și pulverizează particulele de pulbere pe direcția dorită în vederea depunerii pe suprafața piesei (fig. 3.15, *d*). Azotul și amestecul combustibil ies din instalație imediat după ce a avut loc detonația. După aceea în camera de explozie este introdus azot pentru eliminarea completă a gazelor de ardere. Procesul este reglat astfel încît să se repete cu o frecvență de 3—4 cicluri/secundă.

Într-un ciclu de pulverizare se obține o acoperire cu o grosime de aproximativ 6 μm. Pulverizarea se înfăptuiește pînă la obținerea unor grosimi de 0,25—0,3 mm. În timpul exploziei, materialul pulverizat capătă o energie cinetică mare, viteza particulelor la distanța de 75 mm de ieșirea din duza instalației fiind de aproximativ 820 m/s. Dacă pulverizarea se face de la această distanță față de suprafața piesei, în momentul contactului cu aceasta, pulberea se încălzește pînă la o temperatură de 4 000°C. Viteza ridicată a particulelor și încălzirea lor la o temperatură ridicată, în condițiile pulverizării prin explozie, asigură obținerea unor acoperiri cu o densitate mare și o bună aderență cu piesa de bază. De asemenea, temperatura piesei de acoperit rămîne scăzută, excluzînd posibilitatea deformării sau apariției altor modificări fizice ale ei.

Neajunsurile metodei sînt legate în principal de faptul că ea poate fi aplicată numai pentru acoperirea unor materiale la care nu apar deformații reziduale datorită undelor de șoc. O altă condiție restrictivă este impusă de zgomotul mare din timpul operației de pulverizare (pînă la 140 dB), motiv pentru care utilajul trebuie amplasat într-o incintă cu pereți dubli, observarea procesului efectuîndu-se printr-o fereastră specială.

Datorită costului relativ ridicat al utilajului de pulverizare prin explozie, această metodă se aplică în general numai pentru piese importante, la care este necesar să se asigure o aderență foarte bună a stratului depus cu baza și o densitate ridicată.

Pulverizarea termică prin inducție cu curenți de înaltă frecvență poate fi aplicată numai pentru depunerea metalelor, utilizînd ca material de aport atît sîrmă cît și baghete din oțel sau metale neferoase.

Schema de principiu a instalației de pulverizare termică prin inducție cu curenți de înaltă frecvență este prezentată în fig. 3.16. Materialul de adaos sub formă de sîrmă sau baghetă *2* avansează în inductorul *3* unde se încălzește și se topește sub acțiunea cîmpului electromagnetic variabil creat de trecerea curentului electric de înaltă frecvență. În general se utilizează curent electric cu frecvențe de 300—500 kHz.

Construcția pistolului de pulverizare este prezentată în fig. 3.17. Așa cum se poate observa din cele două figuri inductorul este construit din țeavă de cupru profilată prin care circulă apă de răcire. Sîrma este antrenată de dispozitivul de avans *4* cu o viteză de 0,46—1,2 m/min, căldura dată de cîmpul electromagnetic variabil fiind concentrată pe o mică porțiune a acesteia, în zona *6*. Metalul topit este pulverizat de un jet de aer comprimat care pătrunde în pistolul de pulverizare prin racordul *2*. În

Scanned with OKEN Scanner

cazul pulverizării metalelor care se oxidează rapid, în locul aerului comprimat se folosesc gaze inerte, procesul de pulverizare desfășurîndu-se într-o cameră cu atmosferă controlată. Particulele astfel formate au dimensiuni de 20—120 μm, în funcție de presiunea gazului de lucru.

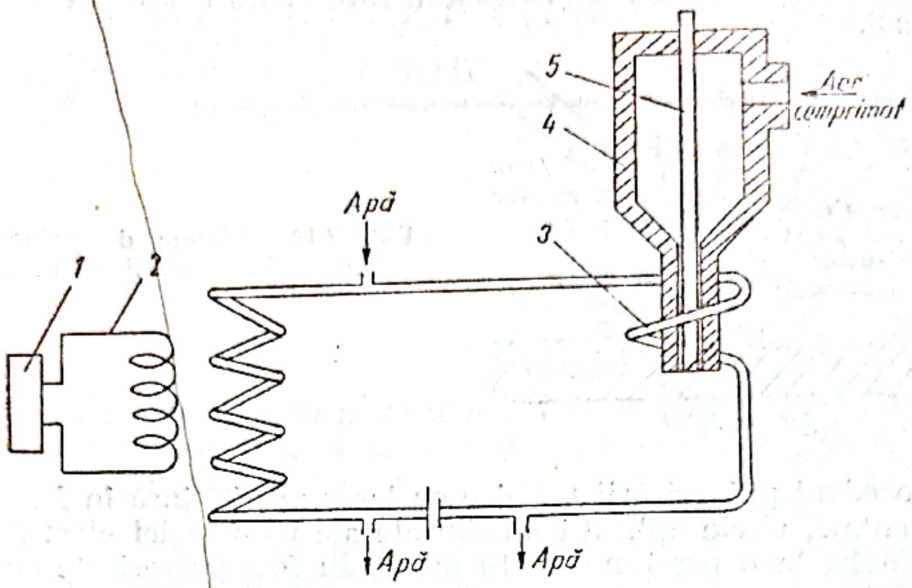


Fig. 3.16. Schema de principiu a instalației de pulverizare termică cu curent de înaltă frecvență prin inducție:
1 — generator de curent de înaltă frecvență; *2* — primar; *3* — inductor; *4* — pistol de pulverizare termică; *5* — materialul de aport (sîrmă).

Prin pulverizarea termică prin inducție cu curenți de înaltă frecvență se obțin straturi cu o omogenitate superioară față de pulverizarea cu arc electric sau cu flacără, porozitatea fiind și ea mai redusă (circa 6% față de celelalte două procedee la care este de aproximativ 15%). De asemenea, încălzirea piesei de bază este mai redusă deoarece nu mai există zona de influență termică dată de arcul electric, iar arderea carbonului și a celorlalte elemente de aliere este de 3—6 ori mai mică, duritatea straturilor de oțel fiind cu 60—80% mai mare.

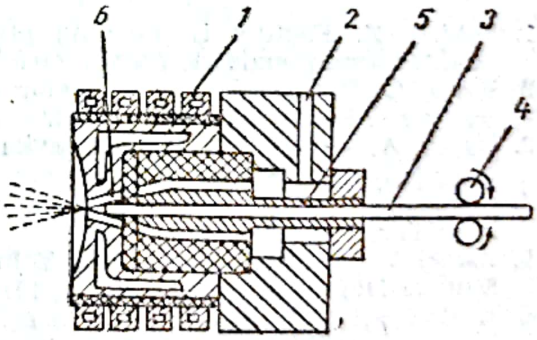


Fig. 3.17. Construcția pistolului de pulverizare termică prin inducție cu curent de înaltă frecvență:
1 — inductor (sîrmă de cupru profilată); *2* — alimentare cu aer comprimat; *3* — sîrma de aport; *4* — mecanismul de antrenare a sîrmei de aport; *5* — conul de ghidaj al sîrmei de aport; *6* — zona de concentrare a căldurii.

Procedeul nu a căpătat însă o răspîndire prea largă datorită costului său ridicat și productivității sale scăzute. De exemplu, în cazul pulverizării unei sîrme de oțel cu un diametru de 4 mm productivitatea maximă este de 9 kg/h, iar pentru sîrma de oțel cu diametrul de 5 mm productivitatea maximă este de 12 kg/h.

Pulverizarea termică cu laser. În cadrul acestui procedeu pulberea de depus este suflată sub un anumit unghi într-o rază laser unde este topită parțial înainte de a ajunge pe suprafața piesei de bază (fig. 3.18).

Scanned with OKEN Scanner

În același timp această suprafață este topită de către raza laser pe o porțiune extrem de mică, astfel încît are loc fuziunea cu o aderență bună între stratul pulverizat și materialul de bază. Pentru ca metoda să dea rezultate bune în cazul aplicațiilor practice, trebuie asigurat un control foarte exact al parametrilor procesului, care poate fi realizat pe calea automatizării.

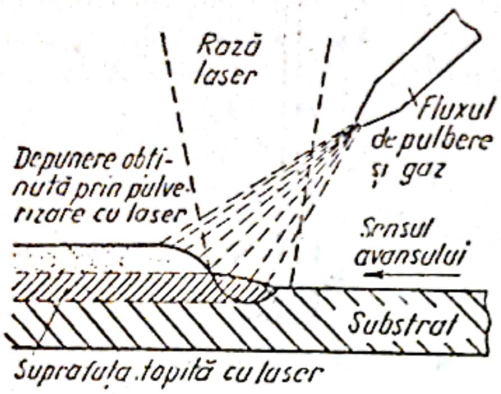


Fig. 3.18. Schema de principiu a pulverizării termice cu laser.

Procedeul pulverizării termice cu laser se află încă în faza studiilor experimentale, unele aplicații industriale ale tehnologiei efectuîndu-se în S.U.A., unde, la o presiune de 10 mbar, au fost pulverizate cu o viteză ridicată într-o rază laser particule din materiale dure [7].

BIBLIOGRAFIE

1. Babiac, Z. Factors influencing properties of plasma-sprayed layers. A XI-cea Conf. Internațională de pulverizare termică, Montreal, 1986, p. 64—66.
2. Darie, C. Recondiționarea pieselor mașinilor și utilajelor din industria lemnului. București, Editura Tehnică, 1988.
3. Hasui, A. și Morigaki, O. Naplavka i napîlenie (Traducere după ediția din limba japoneză). Moscova, Mașinostroenie, 1985.
4. Ingham, H. S. și Shepard, A. P. Metco-Metallizing Handbook, vol. I, II și III. New York, Editura Metco, 1967.
5. Ionuț, V. și Moldoveanu, Gh. Tehnologia reparării utilajului agricol. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1976.
6. Kestvarzi, A. și Reiter, H. The effect of flame sprayed coatings on the fatigue behavior of high strength steels. A XI-cea Conf. Internațională de pulverizare termică, Montreal, 1986, p. 229—236.
7. Steffens, H. D. Future aspects of thermal spraying. A XI-cea conferință internațională de pulverizare termică, Montreal, 1986.
8. Vaș, A. ș.a. Aplicațiile industriale ale plasmei termice Timișoara, Editura Facla, 1979.

Scanned with OKEN Scanner

4

Utilizarea calculatorului electronic la trasarea curbelor lichidus pentru aliaje ternare

Conf. dr. ing. *Mihaiela Isac*
Şef lucrări *Mariana Călin*
Şef lucrări ing. *Viorel Oltean*
Asistent ing. *Cornel Şandor*
Fac. Ingineria Proceselor Metalurgice IPB
Student ing. *Mihai Godeanu*
Fac. Aeronave IPB

Evaluarea temperaturii de topire a unui aliaj se face relativ simplu (cu ajutorul diagramei de echilibru sau a analizei termice) în cazul unui aliaj binar, şi relativ mai greu în cazul aliajelor cu trei sau mai mulţi componenţi.

Stabilirea temperaturii de topire a unui aliaj ternar se face pornind de la diagrama ternară de echilibru fazic a acestuia, pentru care în general numărul secţiunilor aliajelor pseudobinare cunoscute este relativ redus.

Avînd în vedere răspîndirea tot mai largă a sistemelor de calcul, sarcina rezolvării acestei probleme poate fi preluată de calculatoare.

În continuare se prezintă un program care permite determinarea temperaturilor de topire şi trasarea curbelor lichidus pentru aliajele aparţinînd unui sistem ternar. Baza de date cu care se lucrează este reprezentată de valorile T (grade Celsius) ale temperaturii de topire pentru diferite valori ale concentraţiei (%) a doi dintre componenţii aliajului ternar.

Aceste date sînt introduse iniţial în memoria calculatorului. Odată înregistrată, baza de date poate fi utilizată pentru determinările ulterioare. Pentru fiecare diagramă ternară folosită este necesară existenţa unui grup separat de date.

Programul a fost realizat în trei variante: a) BASIC; b) G BASIC şi c) TURBOPASCAL.

Există mai mulţi algoritmi cu care se poate rezolva problema evaluării temperaturii lichidus pornind de la baza de date.

O primă variantă şi cea mai exactă constă în determinarea unei funcţii de forma $T=f(c_1, c_2)$, unde T este temperatura, în °C iar c_1 şi c_2 sînt concentraţiile a doi dintre componenţii aliajului [1]. Problema stabilirii acestei funcţii este foarte dificilă. Pentru ca ea să descrie perfect diagrama ternară este necesar un număr foarte mare de valori (în acelaşi timp foarte precise) în baza de date.

O *a doua* variantă constă în găsirea unui număr de funcţii $T'=f(c')$ corespunzătoare unor concentraţii constante ale unuia din componenţi. Aceasta implică determinarea ecuaţiilor coresunzătoare curbelor lichidus ce alcătuiesc diagrama pseudobinară (secţiuni prin diagrama ternară). Porţiunile dintre curbele descrise de aceste ecuaţii sînt aproximate prin suprafeţe reglate. Temperatura de topire se obţine punînd condiţia de apartenenţă la suprafaţă a punctului de coordonate (c_1, c_2).

La *a treia* variantă, cea aleasă pentru realizarea programului, se pleacă de la ideea că valorile din baza de date constituie o reţea de puncte pe

Scanned with OKEN Scanner

o suprafață. Fiecare ochi al acestei rețele este aproximat printr-un plan determinat de patru puncte. Este adevărat că prin patru puncte nu se poate duce în general un plan, însă se poate găsi unul de care punctele să fie cît mai apropiate (cu o eroare acceptabilă).

Efectuînd un calcul estimativ al erorilor, am constatat că pentru aceeași bază de date, diferența dintre rezultatele obținute prin cele trei metode este relativ mică. Considerînd această precizie satisfăcătoare și ținînd cont de faptul că majoritatea valorilor din baza de date conțin erori obiective, determinate de citirea diagramei binare, pentru elaborarea programului a fost aleasă varianta a III-a.

Programul este alcătuit din nouă părți distincte:

Partea 0 afișează o listă de opțiuni și după selectarea celei dorite, este lansată în execuție una din celelalte opt părți.

Partea 1 afișează instrucțiunile minime de care are nevoie utilizatorul pentru a asigura o bună funcționare a programului.

Partea 2 are rolul de a introduce baza de date.

Partea 3 permite listarea la cerere a tuturor valorilor din baza de date, cu precizarea semnificației fiecăreia.

Partea 4 ușurează efectuarea de modificări în baza de date.

Partea 5 reprezintă baza programului, întrucît este cea cu care se calculează efectiv temperatura de topire a aliajului. Această parte a fost concepută sub forma unei subrutine, care este apelată și de partea de reprezentare grafică. În subrutină se merge pe sistemul unui arbore, care asigură reîntoarcerea la programul principal imediat după calcularea și afișarea valorii temperaturii.

Partea 6 afișează lista de opțiuni cu care se stabilește diagrama ce va fi reprezentată.

Diagramele pot fi reprezentate printr-un număr mai mic sau mai mare de puncte, după valoarea gradului de densitate ales. Această parte a programului nu a fost prevăzută cu o subrutină de rescalare a graficelor; în caz contrar nu s-ar fi putut face o comparație calitativă între diagramele obținute.

Partea 7 asigură înregistrarea pe bandă magnetică (disc magnetic) a bazei de date.

Partea 8 permite, în funcție de opțiunea utilizatorului, ștergerea programului sau a bazei de date.

După executarea instrucțiunilor din fiecare parte, programul se reîntoarce la opțiunile inițiale.

Pentru testarea și exemplificarea funcționării programului am ales aliajul Sn-Sb-Pb. Baza de date am obținut-o în modul următor (pornind de la diagrama ternară corespunzătoare acestui aliaj): am făcut secțiuni prin diagramă la concentrațiile de 0, 10, 20 . . . 90% procente de masă Sn. De pe fiecare secțiune am ales un număr de valori ale concentrației de Pb și am notat temperatura corespunzătoare. Am obținut astfel un număr de 140 triplete de valori, între care și temperaturile de topire ale metalelor pure.

Precizia diagramelor construite este dată de exactitatea valorilor din baza de date și de rezoluția calculatorului utilizat.

Concentrația componentului notat în stînga în simbolul diagramei crește spre dreapta, ajungînd pînă la o valoare maximă, dată de concen-

Scanned with OKEN Scanner

trația componentului constant. În acel punct concentrația celui de-al doilea component aflat pe diagramă este zero.

În fig. 4.1, fig. 4.2 și fig. 4.3 sînt prezentate curbele lichidus obținute cu ajutorul programului de mai înainte pentru trei aliaje ternare oarecare.

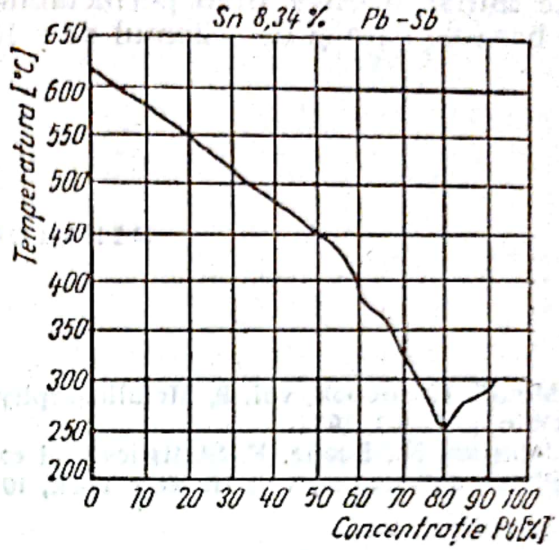


Fig. 4.1. Curba lichidus pentru aliaje Pb—Sb cu 8,34% Sn.

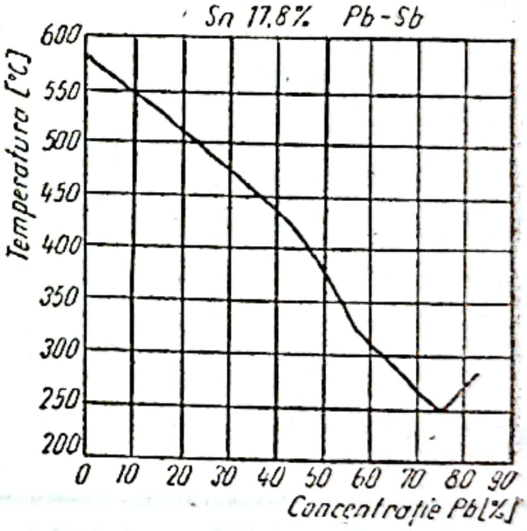


Fig. 4.2. Curba lichidus pentru aliaje Pb—Sb cu 17,8% Sb.

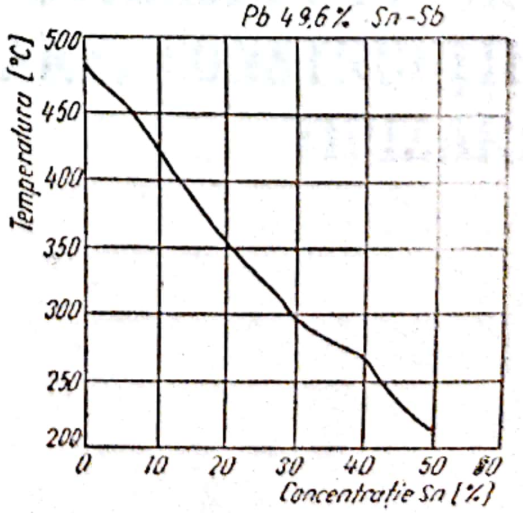


Fig., 4.3. Curba lichidus pentru aliaje Sn—Sb cu 49,6% Pb.

Scanned with OKEN Scanner

Concluzii

Printr-o apelare simplă se poate obține temperatura de topire pentru orice aliaj din sistemul ternar considerat.

Atît algoritmul, cît și întregul program răspund problemei formulate inițial, acestea fiind perfectabile în funcție de nevoile utilizatorului, de baza de date și de sistemul de calcul folosit.

BIBLIOGRAFIE

1. Metals Handbook, vol. 8, Metallography, Structure on Phase, Diagrams, Ed. a 8-a, Ohio, (S.U.A.), 1973.
2. Johnson, N., Leone, F. Statistics and experimental design in Engineering and the Physical Sciences, vol. II, New York, 1977.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

III

MAȘINI, UTILAJE, SDV-URI, PROIECTARE, CONSTRUCȚIE, TIPIZARE

5
Dinamica sistemelor de imprimare prin impact şi implicaţiile ei constructive

Prof. dr. doc. ing. *Traian Demian*
Dr. ing. *Constantin Niţu*
Dr. ing. *Smaranda Niţu*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Imprimarea prin impact. Caracteristici. Performanţe

Extinderea utilizării tehnicii de calcul în toate sectoarele de activitate economico-socială şi ştiinţifică a condus la creşterea numărului şi varietăţii echipamentelor de ieşire în clar a informaţiilor. Majoritatea imprimantelor utilizate în tehnica prelucrării datelor transferă culoarea prin presiune mecanică.

Rezultatele cercetărilor în domeniul imprimării prin impact / 1, 2, 3, 9, 15 / nu au un caracter general, condiţiile experimentelor diferind în funcţie de parametrii sortimentelor de hîrtie şi panglici impregnate utilizate, dar şi de tipul mecanismului de imprimare studiat: cu selecţia caracterului impactat, situat pe un suport mobil, ori prin generarea matriceală a acestuia.

Date orientative privind mecanismele de imprimare prin impact, cu caracter selectat şi pe cele cu generare matriceală sînt prezentate în tabelul 5.1.

Zgomotul inevitabil şi limitarea vitezei de imprimare datorită inerţiei maselor reprezintă dezavantajele majore ale acestei metode. În schimb este posibil ca printr-o singură operaţie de imprimare să se obţină mai multe exemplare.

Reprezentînd o soluţie avantajoasă din punctul de vedere al raportului cost-performanţe, imprimarea matriceală prin impact continuă să rămînă cea mai răspîndită metodă de imprimare, rezervîndu-i-se un loc important şi în viitor. În acest domeniu, informaţiile din literatura de specialitate sînt puţine şi orientate, în special, spre aspectele constructive şi de utilizare sau comandă, ceea ce a condus la necesitatea elaborării unui studiu teoretic şi experimental [14].

Capetele de imprimare matriceale acţionate electromagnetic pot utiliza electromagneţi cu plonjor sau cu clapetă (fig. 5.1). La această soluţie, acele au o curbură mai mică (uneori sînt drepte), electromagneţii sînt aranjaţi circular, cu clapetele orientate radial, astfel încît să fie în contact cu piesele terminale, din material plastic, ale acelor. Acestea protejează acele şi armăturile împotriva uzării provocate de impact, avînd proprietăţi de amortizare şi constituie suprafeţe de sprijin pentru arcurile de revenire ale acelor. Un cap de imprimare construit astfel se numeşte „balistic".

Actualmente, această variantă constructivă este cea mai răspîndită datorită unor certe avantaje, ca: timp mic de contact al acului cu pan-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1. **Valori caracteristice ale parametrilor mecanismelor de imprimare prin impact**

Parametrul caracteristic	Mecanisme cu caracter selectat	Mecanisme matriciale
Masa redusă, m_r, g	0,4 ... 3	0,1 ... 0,2
Lungimea ciocănelului, l_c, mm	20 .. 76,2	40 ... 80
Suprafața de imprimare, A, mm^2	0,5 ... 1,5	0,05 ... 0,15
Forța maximă de imprimare (de compresiune), F_{max}, N	50 ... 200	10 ... 14
Presiunea maximă la imprimare, p_{max}, N/mm^2	100 ... 200	100 ... 140
Coeficientul de restituire al ciocnirii, ε	0,3 ... 0,5	0,3 ... 0,7
Deformația maximă a benzii impregnate și hîrtiei, x_{max}, mm	0,02 ... 0,15	0,02 ... 0,15
Timpul de contact, T_c, μs	40 . . 200	20 ... 60
Viteza de impact, v_3, m/s	2 ... 5	2,2 ... 5
Energia de imprimare, E_i, mJ:		
— 1 exemplar	3,16	0,121
— 6 exemplare	7,2	0,378
Frecvența maximă de acționare, f_{max}, Hz	50 ... 200	700 ... 3000
Cursa ciocănelului, x_3, mm	2 ... 2,5	0,3 ... 0,8
Viteza de imprimare, v_i, linii/minut	25 ... 3000	50 ... 900

glica impregnată și hîrtia; posibilitate de corelare a energiei de imprimare cu numărul de exemplare imprimate, pe distanța ac—hîrtie; întrefier redus și cursă mare realizată prin sistemul de pîrghii.

Principiul constructiv „balistic" este utilizat și la majoritatea sistemelor de imprimare cu caracter selectat.

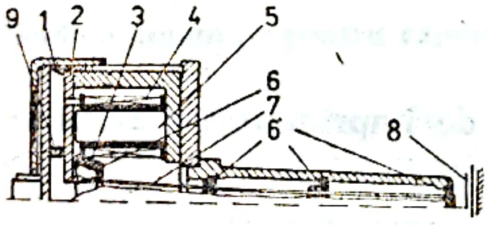


Fig. 5.1. Cap de imprimare balistic: *1* și *3* — arcuri; *2* — clapetă; *4* — bobină; *5* — miez; *6* și *6'* — ghidaje; *7* — ac; *8* — panglică impregnată, suport de imprimare; *9* — șurub de reglaj al întrefierului.

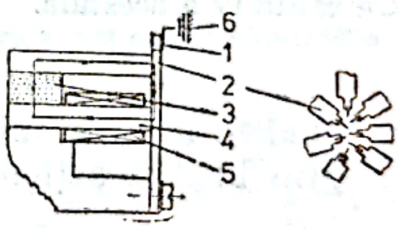


Fig. 5.2. — Cap de imprimare cu energie înmagazinată magnetoelastic: *1* — ac; *2* — arc lamelar; *3* — magnet permanent; *4* — jug feromagnetic; *5* — bobină; *6* — panglică impregnată, hîrtie, suport de imprimare.

Capetele de imprimare cu înmagazinare magnetoelectrică a energiei utilizează, drept ciocănele, arcuri lamelare pretensionate cu ajutorul unor magneți permanenți (fig. 5.2). Circuitul magnetic menține arcul lamelar în poziția „atras", deformîndu-l elastic. Prin aplicarea unei tensiuni elec-

Scanned with OKEN Scanner

trice la bornele bobinei, tensiunea magnetomotoare creată de magnetul permanent este anulată și arcul lamelar este eliberat. Energia sa elastică se transformă în energie cinetică, permițînd impactul cu panglica impregnată, hîrtia și suportul de imprimare. În timpul deplasării ciocănelului spre hîrtie, tensiunea aplicată bobinei se anulează și, după impact, forța de atracție a circuitului magnetic reține arcul lamelar în poziția normală de contact cu jugul.

Printre avantajele care diferențiază această variantă constructiv-funcțională de cele anterioare trebuie menționate: frecvența de lucru ridicată; forța maximă disponibilă în momentul pornirii ciocănelului; eliminarea frecărilor și mărirea duratei de viață a capului de imprimare.

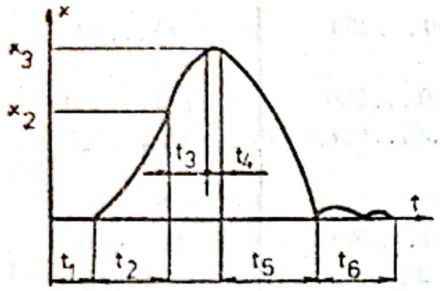


Fig. 5.3. Variația poziției acului în perioada imprimării unui punct.

Funcționarea tuturor tipurilor de capete de imprimare matriceale prin impact este asemănătoare. Acul-ciocănel parcurge distanța pînă la ansamblul panglică impregnată—hîrtie—suport de imprimare și înapoi, conform graficului din fig. 5.3. Aceasta arată poziția x a acului în diferite momente ale mișcării: t_1 — timpul de întîrziere determinat de creșterea forței magnetice pînă la valoarea inițială a forței rezistente; t_2 — timpul de acționare electromagnetică; t_3 — timpul de deplasare a acului (și armăturii) sub acțiunea energiei cinetice dobîndite în t_2; t_4 — timpul de contact cu panglica impregnată și hîrtia; t_5 — timpul de revenire a acului în poziția inițială și t_6 — timpul de stabilire. În cazul imprimării balistice, perioada t_3 este formată din timpul de deplasare a ansamblului armătură, t_3', și timpul de deplasare a acului singur, t_3''. Timpul de imprimare a unui punct, $t_c = \sum_{i=1}^{6} t_i$, este determinat, în principal, de perioadele t_1 și t_2, în care se acumulează energia necesară imprimării corespunzătoare calitativ a acestuia.

2. Modele ale mecanismelor de imprimare matriceală prin impact acționate electromagnetic

Generalități. Circuite electronice de comandă

Capetele de imprimare acționate electromagnetic reprezintă sisteme electromecanice, funcționînd în regim tranzitoriu și constînd în circuitul de comandă, electromagnetul de acționare și ansamblul mobil. Determinarea prin calcul a parametrilor săi de funcționare urmărește, în principal, poziția, viteza și accelerația acului-ciocănel, în diferite momente ale unui ciclu de funcționare, precum și variația curentului, a forței de impact, valoarea energiei de impact, timpul de stabilire.

În condițiile unui circuit electronic de comandă ales, determinarea parametrilor urmăriți necesită rezolvarea concomitentă a ecuațiilor mecanică, electrică și magnetică ale sistemului.

Circuitele uzuale pot fi cu comandă în tensiune constantă, în curent constant sau de tip „chopper", la care, curentul variază în jurul va-

Scanned with OKEN Scanner

lorii nominale sub formă de „dinte de ferăstrău". Cele cu tensiune constantă sînt simple și ieftine, cu randament ridicat, dar pot conduce la încălzire și la limitarea frecvenței de acționare. Un circuit de comandă în tensiune constantă și supresare cu diodă Zener este reprezentat în fig. 5.4.

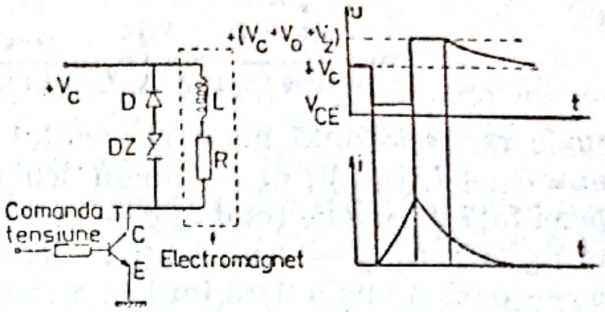


Fig. 5.4. Circuit de comandă în tensiune constantă cu supresare prin diode Zener.

Ecuațiile care caracterizează cele două etape de funcționare ale circuitului electronic de comandă se stabilesc ținîndu-se seama de efectul curenților turbionari ca în [13] și adoptîndu-se, pentru diode, un model liniar pe porțiuni [8]. În perioada τ se aplică bobinei electromagnetului tensiunea $U=V_C-V_{CE}$, deci

$$U=N\,[1+R/(R_1N^2)]\,d\Phi/dt+R\,i_L, \qquad (1)$$

unde: Φ este fluxul magnetic prin bobină; i_L — curentul prin bobină; R_1N^2 — factor de tip rezistiv ce caracterizează constructiv miezul și pune în evidență influența curenților turbionari; R — rezistența bobinei electromagnetului; N — numărul de spire ale bobinei.

După îndepărtarea tensiunii de comandă U, variația curentului, deci a fluxului magnetic, se obține din ecuația circuitului de supresare:

$$N\,[1+R/(R_1N^2)]\,d\Phi/dt+R\,i_L+V_o+V_z=0, \qquad (2)$$

unde V_o este tensiunea de prag a diodei [8], iar V_z — tensiunea de străpungere Zener.

Modele dinamice pentru capete matriceale acționate electromagnetic

Acționarea electromagnetică. După conectarea bobinei electromagnetului la sursa de tensiune, fluxul magnetic începe să crească pînă cînd forța creată de acesta egalează forțele rezistente: frecarea ac—ghidaje, clapetă—carcasă și forța de pretensionare a arcurilor (fig. 5.5).

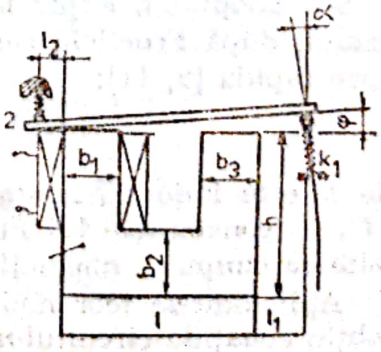


Fig. 5.5. Electromagnet cu clapetă utilizat la capete matriceale balistice.

Din acest moment, ansamblul clapetă—ac începe să se deplaseze conform ecuației de mișcare:

$$m_r \frac{d^2x}{dt^2} + k_r x + F_{rez} + \mu_1 (\mu_2 + \sin\alpha) \frac{\Phi_i^2}{2\mu_0 b_3 g} \frac{l}{l+l_1} \cos\left(\varphi_0 - \frac{x\cos\alpha}{l+l_1}\right) =$$

$$= \frac{\Phi_i^2}{2\mu_0 b_3 g} \frac{l}{l+l_1} \cos\left(\varphi_0 - \frac{x\cos\alpha}{l+l_1}\right) \cos\left(\alpha - \varphi_0 + \frac{x\cos\alpha}{l+l_1}\right), \qquad (3)$$

unde m_r reprezintă masa sistemului clapetă—ac, redusă la axa acului, $m_r = m_{ac} + J/(l+l_1)^2$; m_{ac} — masa acului; J — momentul de inerție al clapetei față de axa de rotație; g — grosimea miezului; l_1, l, b_3 — dimensiuni în fig. 5.5; $\mu_{1,2}$ — coeficienți de frecare clapetă-ac, respectiv ac-ghidaje; φ_0 — poziția unghiulară inițială a clapetei; k_r — rigiditatea redusă a celor două arcuri; $k_r = k_1 + k_2 l_2^2/(l+l_1)^2$; F_{rez} — forța rezistentă din ac, consecință a pretensionării x_0, a arcurilor, a frecării ac-ghidaje și a momentului de frecare din lagărul clapetei; Φ_i — fluxul magnetic în întrefier; μ_0 — permeabilitatea vidului; x — deplasarea acului.

Pentru a putea rezolva ecuația (3) trebuie să i se atașeze ecuațiile circuitului electric, circuitului magnetic și a curbei de magnetizare a miezului.

Circuitul magnetic poate fi modelat în mai multe moduri, detaliindu-se sau nu dispersiile fluxului. Un circuit paralel mult utilizat [9, 11], este indicat în fig. 5.6. În fig. 5.7 este indicat un circuit echivalent tip „serie" recomandat în [10], care pune în evidență variația fluxului în lungul coloanelor electromagnetului.

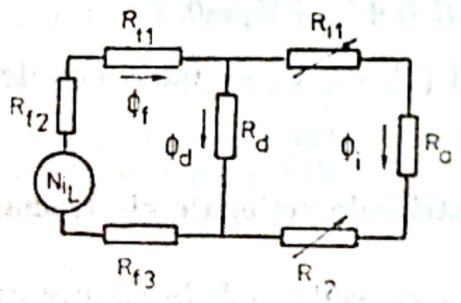


Fig. 5.6. Circuit magnetic echivalent paralel.

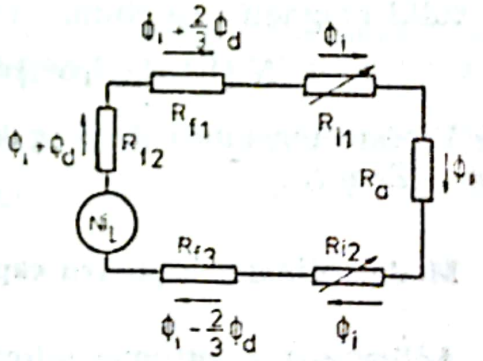


Fig. 5.7. Circuit magnetic echivalent „serie".

S-a adoptat o expresie analitică simplă a curbei de magnetizare a miezului, după Froelich, care dă rezultate bune la electromagneți cu acționare rapidă [9, 11]:

$$B = C_1 H/(C_2 + H), \qquad (4)$$

unde B este inducția magnetică; H — intensitatea cîmpului magnetic; C_1, C_2 — constantele lui Froelich (C_1 — inducția de saturație; C_2 — intensitatea cîmpului magnetic în punctul de permeabilitate maximă).

Aplicîndu-se teoremele lui Kirchhoff circuitelor din fig. 5.6 și 5.7, se obțin ecuațiile circuitului magnetic.

Scanned with OKEN Scanner

Influența curenților turbionari, pusă în evidență de factorul R_1, este apreciată, conform [13], în cazul unui miez cu secțiunea dreptunghiulară, ca fiind

$$R_1N^2=(1{,}25\ldots 1{,}4)\,L\,\frac{b_1^2+g^2}{b_1^2g^2}\,\frac{l\varphi_0\rho_f}{\mu_0 l_f}, \tag{5}$$

unde ρ_f este rezistivitatea fierului; $l_f=2h+l-0{,}5\,(b_1+b_3)-b_2$ este lungimea în fier a circuitului magnetic; $L=\mu_f N^2\,b_1g/(h-b_2)$ este inductivitatea medie a bobinei; μ_f — permeabilitatea medie a fierului.

Sistemul de ecuații, mecanică (3), magnetice și electrică (1) este neliniar, soluții cu o precizie impusă fiind posibil de obținut numai pe cale numerică.

Totuși, soluțiile analitice aproximative indicate în [12] și [13] au putut fi îmbunătățite, ținîndu-se seama de influența curenților turbionari și neliniaritatea curbei de magnetizare.

Se notează: $l/[2\mu_0 Am_r(l+l_1)]=n$; $\frac{U}{N}\left(1+\frac{R}{R_1N^2}\right)^{-1}=p$;

$$\frac{RC_2l_fp}{UN}=q;\ AC_1=r;\ \frac{Rl\varphi_0p}{\mu_0AUN}=u;\qquad \frac{Rlp}{UN(l+l_1)}=v;$$

$F_{rez}=F_f+0{,}5\,k_r(x_0+x_3')$, unde A este aria secțiunii medii a miezului magnetic iar x_3' — poziția de închidere a clapetei, măsurată la axa acului.

Timpul de creștere a fluxului, cu armătura imobilă este

$$t_1=\frac{ur-p-q}{2u\sqrt{(ur+p+q)^2-4pru}}\ln\frac{2pr-[ur+p+q-\sqrt{(ur+p+q)^2-4pru}]\Phi_0}{2pr-[ur+p+q+\sqrt{(ur+p+q)^2-4pru}[\Phi_0}+$$

$$+\frac{1}{2u}\ln\frac{pr}{u\Phi_0^2-(ur+p+q)\Phi_0+pr}, \tag{6}$$

unde $\Phi_0=\sqrt{2\mu_0A(F_f+k_rx_0)(l+l_1)/l}$.

Dependența poziției armăturii și acului de timp, în perioada t_2 se aproximează prin

$$x=\frac{n\Phi_0}{3}\left(p-u\Phi_0-\frac{q\Phi_0}{r-\Phi_0}\right)t^3. \tag{7}$$

După întreruperea alimentării bobinei, intră în funcțiune circuitul de supresare, armătura mobilă primind în continuare energie cinetică. În această perioadă, poziția ei și a acului sînt date de relația

$$x=x_2+\frac{n\Phi_2}{3}\left(u\Phi_2+\frac{q\Phi_2}{r-\Phi_2}-p_0\right), \tag{8}$$

unde: $p_0=\frac{V_0+V_z}{N}\left(1+\frac{R}{R_1N^2}\right)^{-1}$; $\Phi_2=\Phi_0+\beta_1t_2+\beta_2t_2^2+\beta_3t_2^3$;

$$\beta_1=p-u\Phi_0-\frac{q\Phi_0}{r-\Phi_0};\ \beta_2=\frac{\beta_1}{2}\left[u+\frac{qr}{(r-\Phi_0)^2}\right];$$

$$\beta_3=\frac{3\beta_1\beta_2+u\beta_1^2+2u\beta_2\Phi_0-(p+q+ur)\beta_2}{3(r-\Phi_0)};$$

x_2 se obține din (7) pentru $t=t_2$.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvarea numerică a sistemului de ecuații (1)—(5) conduce la rezultate mai bune, de maximă generalitate, dacă se introduc parametri normați, adimensionali. Aceștia sînt: T — timpul; X — deplasarea; P_i — fluxul în întrefier; P_d — fluxul de dispersie; $P=P_i+(2/3)P_d$; $P_f=P_i+P_d$; I — curentul. Ei sînt legați de mărimile fizice corespunzătoare prin relațiile: $t=\tau T$; $x=X(l+l_1)\varphi_0$; $\Phi=PC_1\,b_3\,g$; $\Phi_i=P_i\,C_1\,b_3\,g$; $\Phi_d=P_d\,C_1\,b_3\,g$; $i_L=UI/R$, unde τ este durata perioadei de aplicare a tensiunii constante de valoare U (orice formă de undă a tensiunii este compusă din trepte). Sistemul devine:

$$\frac{dX}{dT}=Y; \tag{9}$$

$$\frac{dY}{dT}=SP_i^2\cos[\varphi_0(1-X\cos\alpha)]\{\cos[\alpha-\varphi_0(1-X\cos\alpha)]-$$
$$-\mu_1(\mu_2+\sin\alpha)\}-KX-R=g_1(P_i,X), \text{ pentru fig. 5.6,} \tag{10}$$

sau

$$\frac{dY}{dT}=S(P-2P_d/3)^2\cos[\varphi_0(1-X\cos\alpha)]\{\cos[\alpha-\varphi_0(1-X\cos\alpha)-$$
$$-\mu_1(\mu_2+\sin\alpha)\}-KX-R=g_2(P,P_d,X) \text{ pentru fig. 5.7,} \tag{11}$$

unde: Y este viteza adimensională a acului; $K=k_r\tau^2/m_r$;

$$R=\frac{(F_f+k_rx_0)\tau^2}{m_r(l+l_1)\varphi_0}; \qquad S=\frac{C_1^2b_3gl\tau^2}{2\mu_0m_r(l+l_1)^2\varphi_0};$$

$$P_i=\frac{AP_f+Z+1+L(1-X)-\sqrt{[AP_f+Z+1+L(1-X)]^2-4AP_f[L(1-X)+1]}}{2A[L(1-X)+1]} \tag{12}$$

$$I=B_1\left\{\left[\frac{Q}{B(1-P_f)}+\frac{B}{1-BP_f}+\frac{V}{1-CP_f}+1\right]P_f+P_i\right\}, \text{ pentru fig. 5.6.} \tag{13}$$

sau

$$I=B_1P_d=B_1\left\{\frac{Z(P-2P_d/3)}{[1-A(P-2P_d/3)]^2}+L(1-X\cos\alpha)(P-2P_d/3)+\right.$$
$$\left.+\frac{QP}{(1-BP)^2}+\frac{QP}{B(1-P)^2}+\frac{V(P+P_d/3)}{[1-C(P+P_d/3)]^2}\right\}, \text{ pentru fig. 5.7,} \tag{14}$$

unde $A=b_3/a$; $B=b_3/b_1$; $C=b_3/b_2$;
$Z=0{,}5C_2[a+l-0{,}5(b_1+b_3)]/(C_1agR_d)$;
$Q=0{,}5C_2(h-b_2)/(C_1b_1gR_d)$; $L=0{,}5\,l\varphi_0/(\mu_0b_3gR_d)$;
$V=0{,}5C_2[b_2+l-0{,}5(b_1+b_3)]/(C_1b_2gR_d)$;
$B_1=2C_1b_3gR_dR/(UN)$;
$R_d=2(l-b_1-b_3)/[\mu_0(h-b_2)g]$.

Ecuația circuitului electric, în perioada alimentării bobinei este

$$\frac{dP_f}{dT}=A_1(1-I), \text{ pentru fig. 5.6,} \tag{15}$$

sau

$$\frac{dP}{dT}=A_1(1-I) \text{ pentru fig. 5.7, unde} \tag{16}$$

$$A_1=\frac{U}{C_1b_3gN}\left(1+\frac{R}{R_1N^2}\right)^{-1}.$$

Scanned with OKEN Scanner

În perioada supresării,

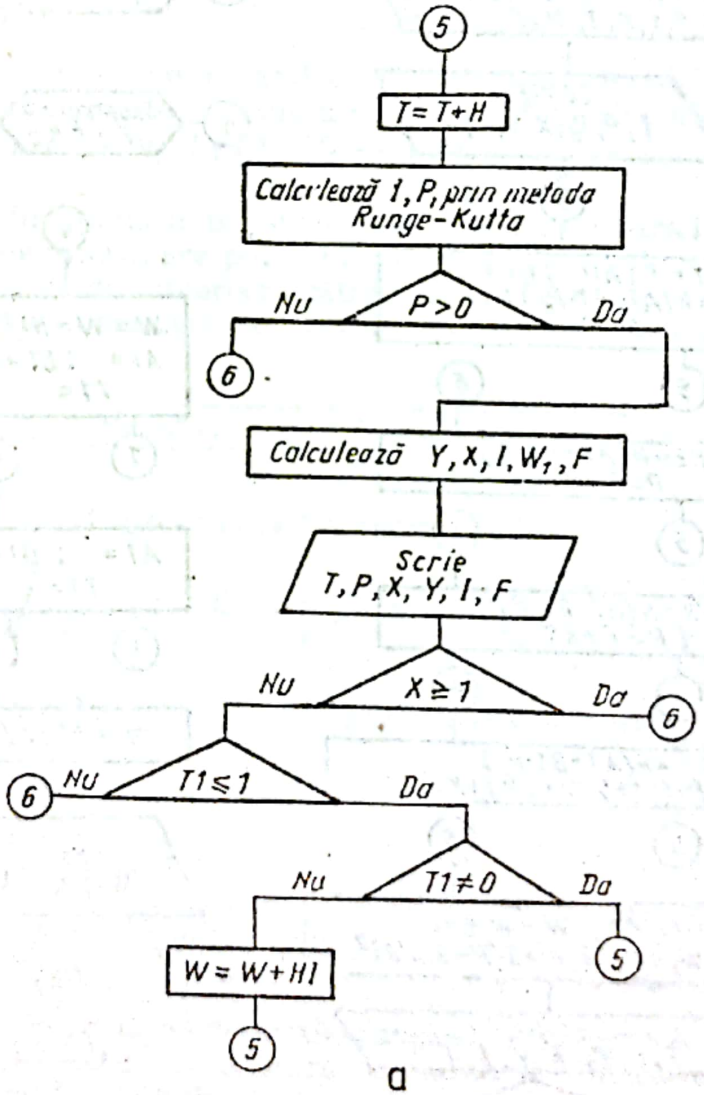
$$\frac{dP}{dT} = A_1[(V_0+V_z)/U - I]. \qquad (17)$$

Energia cinetică utilă, de impact este:

$E_c = m_1 v^2/2 = m_1(l+l_1)^2\varphi_0^2 Y^2/(2\tau^2)$, iar energia introdusă în sistem

$$E_{el} = \int_0^\tau U\,idt = U^2\tau W/R, \text{ unde } W = \int_0^1 IdT.$$

Integrarea sistemelor de ecuații (9)—(17) a fost realizată prin metoda Runge-Kutta de ordinul IV. Schemele logice ale subprogramelor și programului de calcul sînt prezentate în fig. 5.8.



a

Fig. 5.8. Schemele logice ale subprogramului și programului de calcul al acționării electromagnetice:
a — subprogramul de calcul în perioada aplicării tensiunii de comandă

Scanned with OKEN Scanner

Mişcarea liberă a armăturii şi acului. După încetarea acţiunii electromagnetului, armătura şi acul îşi continuă mişcarea cu viteza v_2, după legea

$$x=v_2\sqrt{\frac{m_r}{k_r}}\sin\sqrt{\frac{k_r}{m_r}}\,t+\frac{F_{rez}+k_r x_r}{k_r}\cos\sqrt{\frac{k_r}{m_r}}\,t-\frac{F_{rez}}{k_r}. \qquad (18)$$

Dacă sistemul de imprimare funcţionează în modul apăsat (la imprimare contribuie şi armătura), acul atinge hîrtia după perioada

$$t_3=2\sqrt{\frac{m_r}{k_r}}\operatorname{arctg}\frac{v_2\sqrt{m_r/k_r}-\sqrt{m_r v_2^2/k_r-(x_3^2-x_2^2)-(2F_{rez}/k_r)(x_3-x_2)}}{x_3+x_2+2F_{rez}/k_r}. \qquad (19)$$

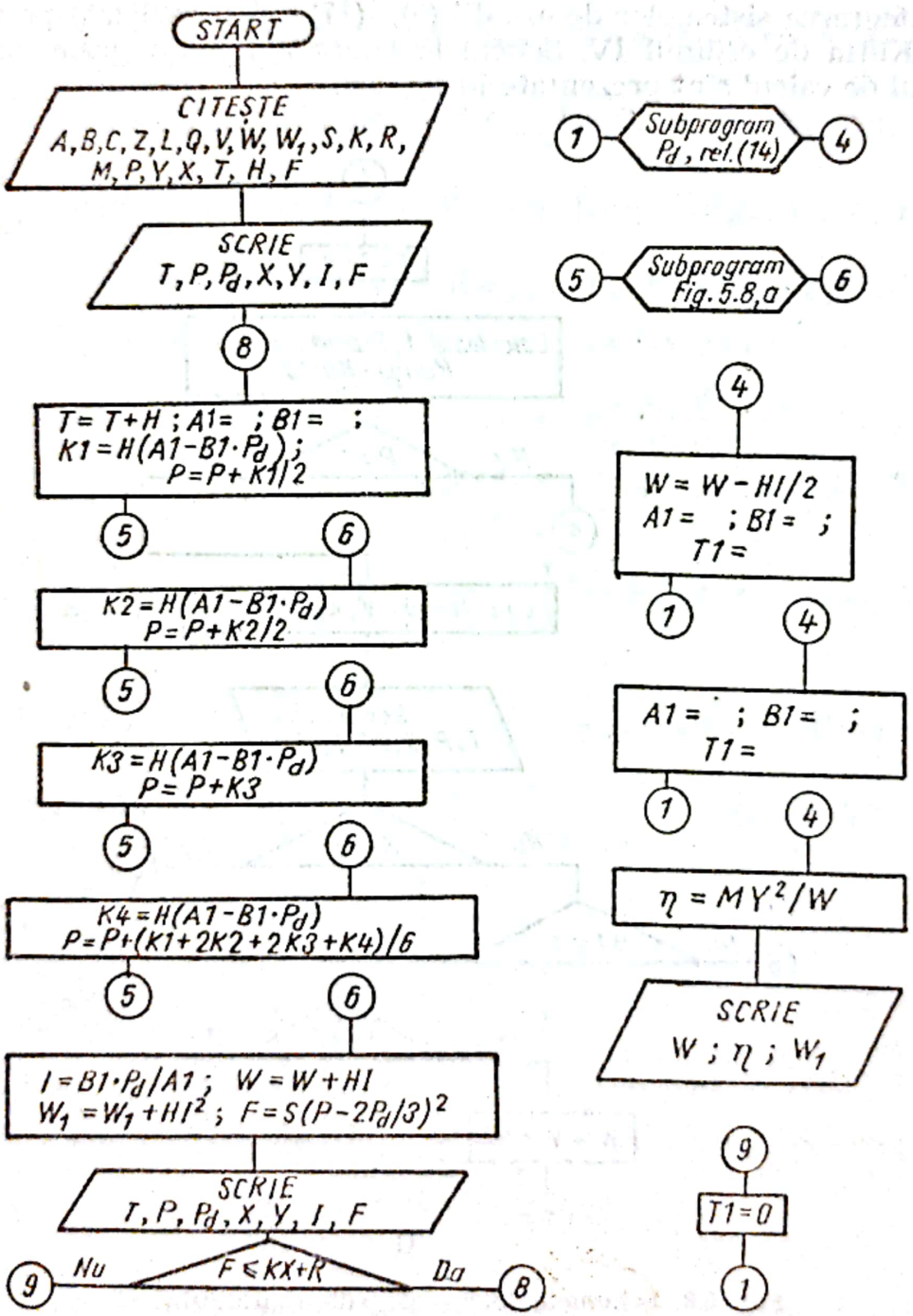


Fig. 5.8. Schemele logice ale subprogramului şi programului de calcul al acţionării electromagnetice:
b — programul de calcul al întregii acţionări.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru funcționarea în modul balistic, perioada t_3 se împarte în

$$t_3' = 2\sqrt{\frac{m_r}{k_r}}\,\text{arctg}\,\frac{v_2\sqrt{m_r/k_r} - \sqrt{m_r v_2^2/k_r - (x_3'^2 - x_2^2) - (2F_{rez}/k_r)(x_3' - x_2)}}{x_3' + x_2 + 2F_{rez}/k_r} \tag{20}$$

și

$$t_3'' = 2\sqrt{\frac{m_{ac}}{k_1}}\,\text{arctg}\,\frac{v_3'\sqrt{m_{ac}/k_1} - \sqrt{m_{ac}v_3'^2/k_1 - (x_3^2 - x_3'^2)[2(F_f + k_1x_0)/k_1](x_3 - x_3')}}{x_3 + x_3' + 2(F_f + k_1x_0)/k_1} \tag{21}$$

unde

$$v_3' = \sqrt{v_2^2 + (F_{rez} + k_r x_2)^2/(k_r m_r) - (F_{rez} + k_r x_3')^2/(k_r m_r)}. \tag{22}$$

Acestea reprezintă perioada de deplasare a armăturii și acului (t_3') și de deplasare a acului (t_3''). Dacă imprimarea are loc în modul apăsat, revenirea acului după impactul cu hîrtia, panglica impregnată și suportul de imprimare are durata

$$t_5 = 2\sqrt{\frac{m_r}{k_r}}\,\text{arctg}\,\frac{\sqrt{m_r v_4^2/k_r + x_3^2 + 2x_3(x_0 - F_{fr}/k_r)} - v_4\sqrt{m_r/k_r}}{x_3 + 2x_0 - 2F_{fr}/k_r}, \tag{23}$$

unde: $v_4 = -\varepsilon v_3$; ε — coeficientul de restituire al ciocnirii ac-hîrtie-panglică impregnată; v_3 este obținut din relația (22), înlocuindu-se v_2 cu v_3' și x_3' cu x_3; $F_{fr} = F_f + M_f/(l + l_1)$; M_f — momentul de frecare din lagărul clapetei.

În cazul funcționării balistice, parametrii geometrici și mecanici ai mecanismului de imprimare pot conduce la două situații: a) acul ciocnește clapeta în mișcarea de întoarcere către opritorul de repaus (uzual); b) acul ciocnește clapeta în mișcarea de revenire după ciocnirea ei cu opritorul.

În cazul a)

$$t_5 = t_5' + 2\sqrt{\frac{m_r}{k_r}}\,\text{arctg}\,\frac{\sqrt{m_r v_5'^2/k_r + (x_3 - x_5')^2 + 2(x_3 - x_5')(x_0 - F_{fr}/k_r)} - v_5'\sqrt{m_r/k_r}}{x_3 - x_5' + 2x_0 - 2F_{fr}/k_r}. \tag{24}$$

unde t_5' se determină din ecuația trigonometrică

$$v_4'\sqrt{\frac{J}{k_2 l_2^2}}\sin\sqrt{\frac{k_2 l_2^2}{J}}\sin(t + t_3'') + \left[x_3' + x_0 - \frac{M_f(l + l_1)}{k_2 l_2^2}\right]\cos\sqrt{\frac{k_2 l_2^2}{J}}(t + t_3'') +$$

$$+ \frac{M_f(l + l_1)}{k_2 l_2^2} = -v_4\sqrt{\frac{m_{ac}}{k_1}}\sin\sqrt{\frac{k_1}{m_{ac}}}\,t + (x_3 + x_0 - F_f/k_1)\cos\sqrt{\frac{k_1}{m_{ac}}}\,t + \frac{F_f}{k_1}, \tag{25}$$

în care $v_4' = -\varepsilon_{12}v_3'$ iar ε_{12} — coeficientul de restituire la ciocnirea clapetă-miez.

Poziția de întîlnire este

$$x_5' = -v_4\sqrt{\frac{m_{ac}}{k_1}}\sin\sqrt{\frac{k_1}{m_{ac}}}\,t_5' + \left(x_3 + x_0 - \frac{F_f}{k_1}\right)\cos\sqrt{\frac{k_1}{m_{ac}}}\,t_5' + \frac{F_f}{k_1}. \tag{26}$$

Modelarea impactului ac-hîrtie-panglică impregnată. Pentru calculul forței și a timpului de contact sînt necesare, indiferent de metodă, curbe experimentale de deformație a straturilor de hîrtie. Datorită masei mici a acelor, în comparație cu ciocănelele imprimantelor cu caracter selectat și a rigidității lor comparabile cu cea a hîrtiei, modelele din [1, 3, 7] constituie doar aproximări simplificatoare ale fenomenelor.

Scanned with OKEN Scanner

Din acest motiv este necesar să se țină seama și de modul de propagare a undelor elastice longitudinale în ac. Aceasta conduce la rezolvarea ecuației

$$v_3 t - \frac{1}{m_r}\int_0^t (t-\tau)\, F(\tau)d\tau = S_k + m_k\,[F(t)-F_k] - \frac{c}{2EA}\int_0^t F(\tau)\,d\tau -$$

$$-\frac{c}{EA}\sum_{k=1}^{\infty}\int_{2k\frac{l}{c}}^{t} F(\tau)\,d\tau, \qquad (27)$$

unde: S_k, F_k sînt punctele unghiulare ale caracteristicii de deformație liniarizate a hîrtiei și panglicii impregnate; m_k — pantele porțiunilor liniarizate ale acesteia; $c = \sqrt{E/\rho}$ — viteza undelor longitudinale; $F(\tau)$ — forța de impact.

Integrîndu-se numeric relația (27), au fost obținuți timpul de contact și forța de impact din fig. 5.9.

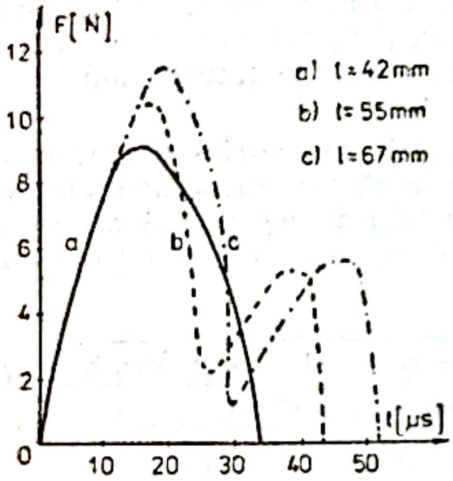


Fig. 5.9. Variația forței de impact la ace din oțel.

3. Analiza metodelor de calcul al comportării dinamice a sistemelor de imprimare acționate electromagnetic

Parametri fundamentali și auxiliari ce caracterizează comportarea dinamică

Deși pe plan mondial nu există o concepție unitară privind parametrii ce trebuie testați pentru a aprecia comportarea capetelor de imprimare matriceală prin impact, este rațional să se stabilească, drept parametri fundamentali, cei legați de îndeplinirea condițiilor fizice de funcționare: energia de impact și timpul de contact, care asigură transferul cernelii pe hîrtie, timpul de „zbor" al acului și variația acestuia care asigură o anumită viteză de imprimare. Întrucît energia de impact nu poate fi măsurată, se pot utiliza două metode de apreciere a valorii ei: prin măsurarea vitezei de impact și prin măsurarea forței maxime dezvoltate între ac și hîrtie — panglică impregnată.

Scanned with OKEN Scanner

Parametrii constructivi, cum ar fi masele elementelor mobile, rigiditățile elementelor elastice, forțele de frecare, dimensiunile electromagneților, caracteristicile lor elastice și magnetice, forma și durata semnalului de comandă, se pot combina în numeroase moduri pentru a obține valorile necesare ale parametrilor fundamentali. Ei pot fi categorisiți, din acest motiv, drept auxiliari, deși au un rol esențial în dinamica mecanismului, și sînt singurii care pot fi modificați în procesul de proiectare. pentru optimizare.

Apreciindu-se drept răspuns al sistemului electromecanic de acționare deplasarea acului în timp, au fost concepute dispozitive experimentale care au permis măsurarea parametrilor fundamentali în condițiile

Fig. 5.10. Oscilograme ale semnalului de comandă al electromagnetului și semnalului generat de traductorul piezoelectric la impactul acului (distanța între ac și traductor, $x=0{,}7$ mm).

unor distanțe variabile ac - hîrtie - panglică impregnată (traductor piezoelectric). Ele se bazează pe vizualizarea concomitentă pe un osciloscop cu memorie a semnalului aplicat de dispozitivul electronic de comandă și semnalul dat de traductor (fig. 5.10), cînd între acesta și ac este stabilită o anumită distanță x_2, citită pe un micrometru sau comparator. Un astfel de montaj permite măsurarea timpului de efectuare a cursei directe, a timpului de contact a timpului total de deplasare a acului și a forței de impact.

Comparație între rezultatele teoretice și experimentale

Au fost efectuate calculele și experimentele în cazul a patru capete de imprimare matriceale. Pentru a restrînge sursele de erori ale calculului la nivelul algoritmului, valorile parametrilor constructivi au fost determinate prin măsurare.

Modelul de calcul analitic reprezentat prin relațiile (6), (7) și (8) a fost aplicat capului balistic nr. I. Rezultatele sînt mult mai bune decît cele obținute prin metoda Ter-Akopov [12, 13], o comparație între acestea și valorile experimentale fiind ilustrată în fig. 5.11.

În fig. 12—16 sînt reprezentate grafic, comparativ, pozițiile acelor în timp, rezultate din calculul numeric și din măsurare.

Se observă că primul algoritm numeric, bazat pe fig. 5.6, satisface în special din punctul de vedere al poziției. Deși conduce la erori mai mari relativ la poziție, al doilea algoritm numeric (bazat pe fig. 5.7) este superior din punctul de vedere al vitezelor acului, deci al energiei de imprimare. Cu acest algoritm au fost calculate forța dezvoltată de elec-

Scanned with OKEN Scanner

tromagnet și energia cinetică a acului în perioada de acționare, reprezentate în fig. 5.17 și 5.18.

În tabelul 5.2 sînt prezentate valori ale erorilor relative obținute prin calcul, care confirmă utilitatea tehnică a metodelor dezvoltate.

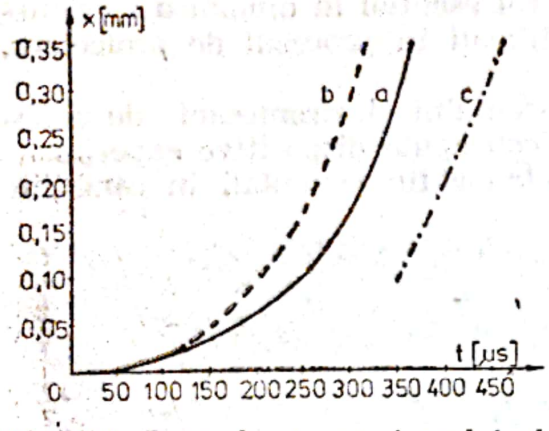


Fig. 5.11. Dependența cursei acului de timp:

a — calculată prin noua metodă; *b* — calculată prin metoda Ter-Akopov; *c* — experimentală.

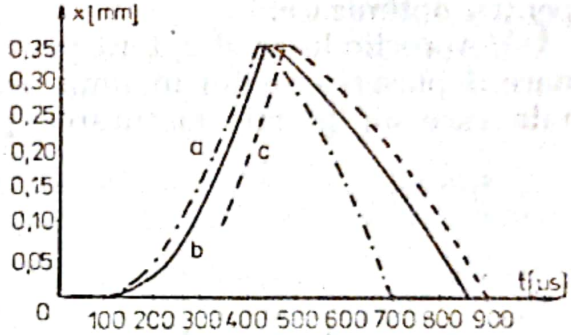


Fig. 5.12. Cursa acului în timp (cap I — modul apăsat):

a — calculată cu al doilea algoritm numeric; *b* — calculată cu primul algoritm numeric; *c* — experimentală.

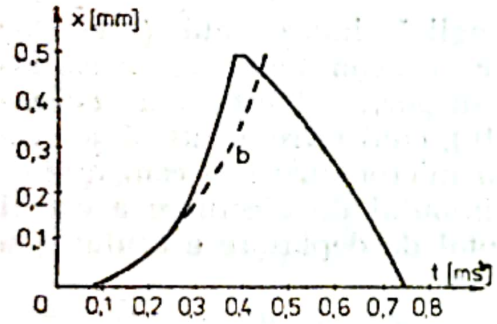


Fig. 5.13. Fig. 5.13. Cursa acului în timp (cap IV):

a — calculată cu al doilea algoritm; *b* — experimentală.

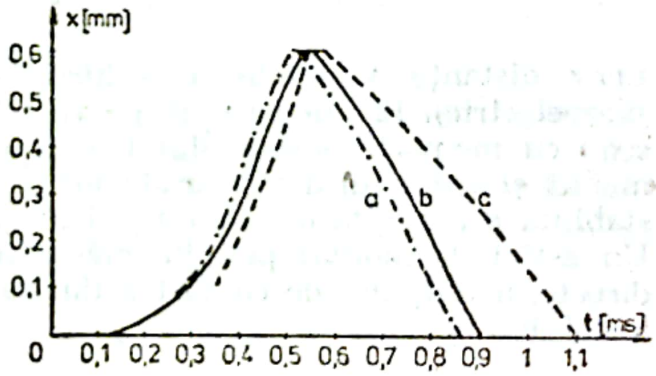


Fig. 5.14. Cursa acului în timp (cap I — modul balistic):

a — calculată cu al doilea algoritm; *b* — calculată cu primul algoritm; *c* — experimentală.

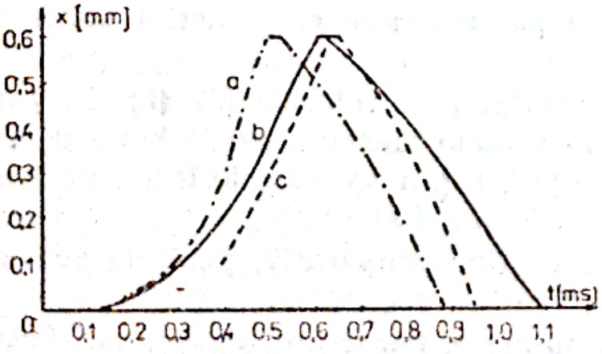


Fig. 5.15. Cursa acului în timp (cap. II — modul balistic):

a — calculată cu al doilea algoritm; *b* — calculată cu primul algoritm; *c* — experimentală.

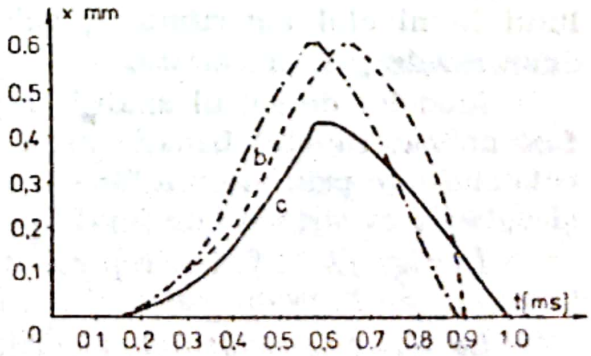


Fig. 5.16. Cursa acului în timp (capul III — modul balistic):

a — experimentală; *b* — calculată cu al doilea algoritm; *c* — calculată cu primul algoritm.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.2. **Valori ale erorilor relative ale timpilor de deplasare a acelor**

Modul de lucru	Parametrul	Algoritmul utilizat	Eroarea, %			
			Cap I	Cap II	Cap III	Cap IV
Apăsat	Timpul cursei directe	Serie	11	18,4	11,6	12,2
		Paralel	7	7,3	—12	—
	Timpul total	Serie	22,2	10,7	3	—
		Paralel	4,4	— 6,7	—29,2	—
Balistic	Timpul cursei directe	Serie	7.4	20,6	11,1	—
		Paralel	2	3	—	—
	Timpul total	Serie	21,8	7,4	2,2	—
		Paralel	18,2	—15,8	—	—

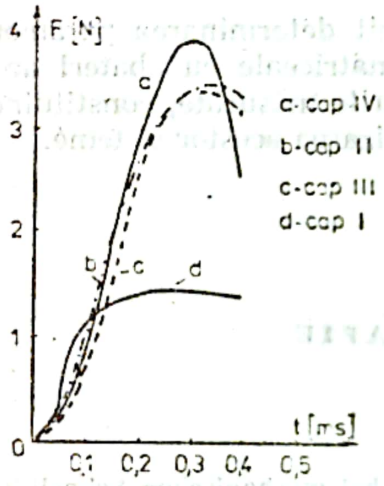


Fig. 5.17. Forța dezvoltată de electromagnet în perioada acționării.

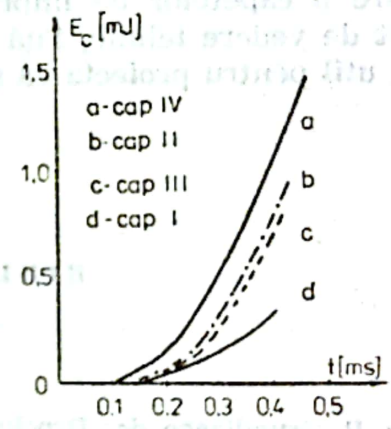


Fig. 5.18. Energia cinetică a acului în perioada de acționare.

4. Optimizări constructiv-funcționale. Concluzii

Cu ajutorul modelului dinamic descris de relațiile (9)—(17) se pot trage concluzii privind dimensionarea optimă a armăturii electromagnetului și a arcurilor elicoidale atașate acului și armăturii.

Se observă în fig. 5.19 că timpul de zbor T prezintă un optim pentru $A=b_3/a=1{,}75$, corespunzător celor două tendințe contradictorii: mărirea secțiunii armăturii pentru evitarea saturării magnetice și micșorarea ei pentru diminuarea masei reduse a sistemului mobil. Influența modificării rigidității arcurilor sistemului, în domeniul uzual, este puțin

Scanned with OKEN Scanner

semnificativă, deşi se observă (fig. 5.20) tendinţa de a se mări timpul de zbor cu creşterea rigidităţii. La rigidităţi mici, revenirea acului se produce în timp mai mare, ceea ce afectează valoarea timpului total de acţionare.

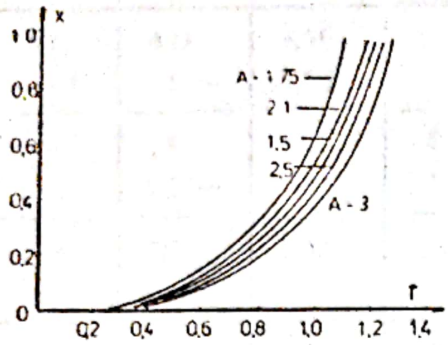


Fig. 5.19. Influenţa grosimii armăturii asupra timpului de deplasare a acului.

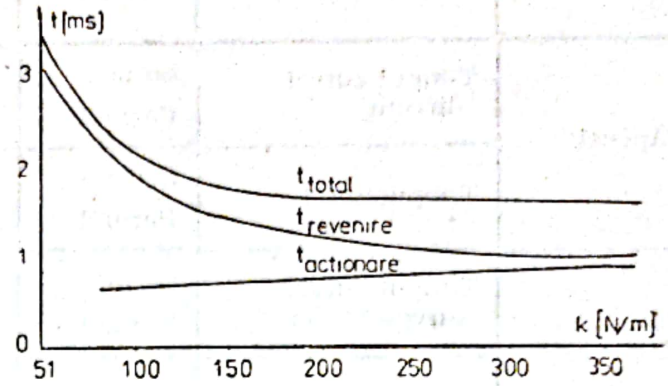


Fig. 5.20. Influenţa rigidităţii reduse a arcurilor asupra timpului total de deplasare a acului.

Modelele de calcul elaborate permit determinarea parametrilor de funcţionare a capetelor de imprimare matriceale cu abateri acceptabile din punct de vedere tehnic, faţă de valorile măsurate, constituind un instrument util pentru proiectarea şi optimizarea acestor sisteme.

BIBLIOGRAFIE

1. Blume, P. Grundlagen des Druckvorgangs bei mechanischen Schnelldruckern, în „Feinwerktechnik und Mikronik" 76, Heft 4, 1972.
2. Buczyński, L. Farbübertragungsprobleme an Typenradschreibwerken. În „Feinwerktechnik et Messtechnik" 89, Heft 6, 1981.
3. Dauer, F. W. Impact printing. In „IEEE Trans. on Electronic Computers", vol. EC 15, nr. 5, oct., 1966.
4. Demian, T. şi Niţu, C. Implicaţii constructive ale fenomenului de impact asupra capetelor de imprimare matricială cu ace. În „Construcţia de maşini", nr. 12, 1982.
5. Demian, T. şi Niţu C. On the Dynamic Behaviour of the Matrix Printhedds and Its Designing Implications, In „The 7th World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms", vol. 3, Sevilla, 1987.
6. Demian, T. şi Niţu, C. Influenţa frecării dintre ace şi ghidaje asupra funcţionării capetelor matriciale balistice. În „Studii şi cerc. de mecanică aplicată", tomul 47, 1988.
7. Geber, T. şi Vuici, M. Echipamente periferice. Vol. 2. Bucureşti, Editura Tehnică, 1981.
8. Gray, P. E. şi Searle, C. L. Bazele electronicii moderne, Bucureşti Editura Tehnică, 1973.
9. Greenblott, B. J. A Development Study of the Print Mechanism on the IBM 1403 Chain Printer, În Trans. AIEE, Communications and Electronics, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

10. Hortopan, Gh. ş.a., Aparate electrice de comunicaţie. Tehnica fenomenelor rapide. Bucureşti, Editura Tehnică, 1985.
11. Isobe, M. On the Analitycal Design of High Speed Printer Hammer Actuator, în „NEC Res., Dev." nr. 22, 1971.
12. Jira, J. Tiskárna s mozaikovým zpusobem tisku pro popis derných stitku. În „Automatizace", nr. 11, 1970.
13. Kallenbach, E. Der Gleichstrommagnet. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1969.
14. Niţu, C. Studiul şi perfecţionarea dinamică a sistemelor de imprimare prin impact. Teză de doctorat, I.P.B., 1988.
15. Okazaki, T şi Kobagashi, M. A Study on the Carbon Ink Transfer Mechanism. În „Buli. Jap. Soc. Prec. Eng.", vol. 13, nr. 2, 1979.
16. Otzuka, Y şi Nishimoto, K. Study on Wear of Print Wire for Wire Matrix Printer, In „Journ. Jap. Prec. Eng.", vol. 53, Nr. 4, 1987.

Scanned with OKEN Scanner

6

Arcuri lamelare parabolice. Necesitate, realizări, perspective

Prof. dr. ing. *Virgil Moldovan*
Institutul Politehnic Cluj-Napoca
Conf. dr. ing. *Moise Țuțurea*
Universitatea din Sibiu

1. Arcuri lamelare parabolice. Avantaje și dezavantaje. Necesitate. Eficiență economică

La suspensia auto se pot monta arcuri lamelare semieliptice (prescurtat a.l.s.), compuse din foi cu secțiune constantă sau arcuri lamelare parabolice (a.l.p.), compuse din foi cu secțiune variabilă (fig. 6.1). Fabricația a.l.s. se realizează cu un coeficient de utilizare a metalului de 98%, practic nemaiexistînd rezerve de reducere a consumului de metal. Ridicarea valorii fiecărei tone de metal, inclusă în produse, impune montarea la suspensia auto a a.l.p., ca urmare a avantajelor pe care le au în raport cu a.l.s. [1, 2, 3].

A.l.p. au masă mai mică cu 35—58% decît cea a a.l.s., ceea ce asigură un grad superior de valorificare a metalului. Reducerea masei a.l.p. este asigurată de forma foii, care permite ca, în fibrele extreme ale oricărei secțiuni, tensiunea maximă să fie aproape constantă. De asemenea, tensiunile statice admisibile sînt mai mari (600—750 MPa), față de cele ale a.l.s. din oțel aliat (450—600 MPa). Creșterea tensiunilor admisibile este permisă de utilizarea unor oțeluri aliate superioare, a unor semifabricate cu calitate superioară a suprafeței, necorodate și nedecarburate, de îmbunătățirea tehnologiilor de fabricație și a condițiilor de exploatare prin eliminarea frecării între foi, a protecției anticorosive superioare etc.

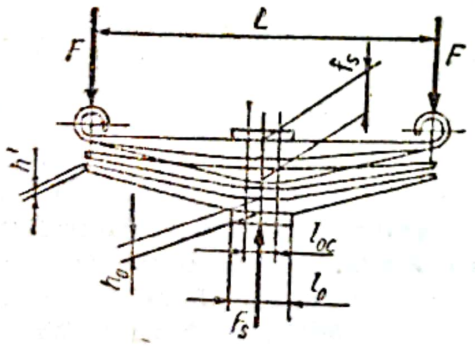


Fig. 6.1. Arc lamelar parabolic.

Numărul de foi conținute de a.l.p., este de cca trei ori mai mic decît cel al a.l.s. Din relația (6.3) (v. § 2) se observă că, pentru a micșora numărul de foi, este de dorit utilizarea arcurilor de lungime mare și din oțeluri superioare, influența acestor factori fiind covîrșitoare.

Diminuarea forțelor de frecare la a.l.p. se datorează atît reducerii numărului de foi cît și utilizării de garnituri între ele. Aceasta face ca suspensia să fie mai sensibilă iar rigiditatea statică și dinamică să fie mai constantă în timp.

O deficiență importantă a arcurilor lamelare o constituie creșterea rigidității la amplitudini mici ale vibrațiilor, fapt ce conduce la scăderea

Scanned with OKEN Scanner

confortabilității prin apariția fenomenului de „scuturare". Această creștere a rigidității la amplitudini mici ale vibrațiilor este simțitor redusă la arcurile cu un număr mic de foi, cum este cazul a.l-p.

O dată cu scăderea de circa trei ori a numărului de foi a a.l.p., devine economică și avantajoasă folosirea unor tehnologii perfecționate, care pot conduce la creșterea spectaculoasă a duratei de serviciu a arcurilor. Astfel se pot realiza fibraje longitudinale prin deformare plastică, rotunjirea marginilor foii, ecruisare cu jet de alice, stabilizarea prin precomprimare prealabilă, garnituri între foi, acoperiri anticorosive de calitate, utilizarea unor laminate din oțeluri superioare cu suprafață nedecarburată și fără oxizi etc.

La a.l.p. tensiunile de serviciu sînt mai mari decît la a.l.s. Aceasta înseamnă că, la apariția unor suprasolicitări mai mari decît sarcina maximă de șoc, există posibilitatea ruperii arcurilor. Ca urmare, a.l.p. se montează cu preponderență la suspensia din față a autovehiculului, unde suprasolicitările sînt mai mici sau pe autovehicule care rulează în condiții rutiere relativ bune. În cazul montării a.l-p. pe suspensia spate sau la autovehicule care rulează în condiții rutiere rele se impune utilizarea unor arcuri suplimentare sau a altor elemente de limitare a suprasarcinilor.

Reducerea de cca trei ori a numărului de foi pe arc creează condiții favorabile și pentru o mai bună organizare și planificare a producției, conduce la reducerea spațiilor de depozitare, avînd același efect asupra indicatorilor de eficiență ca tipizarea sau restrîngerea tipodimensiunilor de fabricație.

Gradul superior de valorificare a metalului poate fi cuantificat cu ajutorul masei specifice m_s, raportată la 1 000 daN sarcină statică (fig. 6.2).

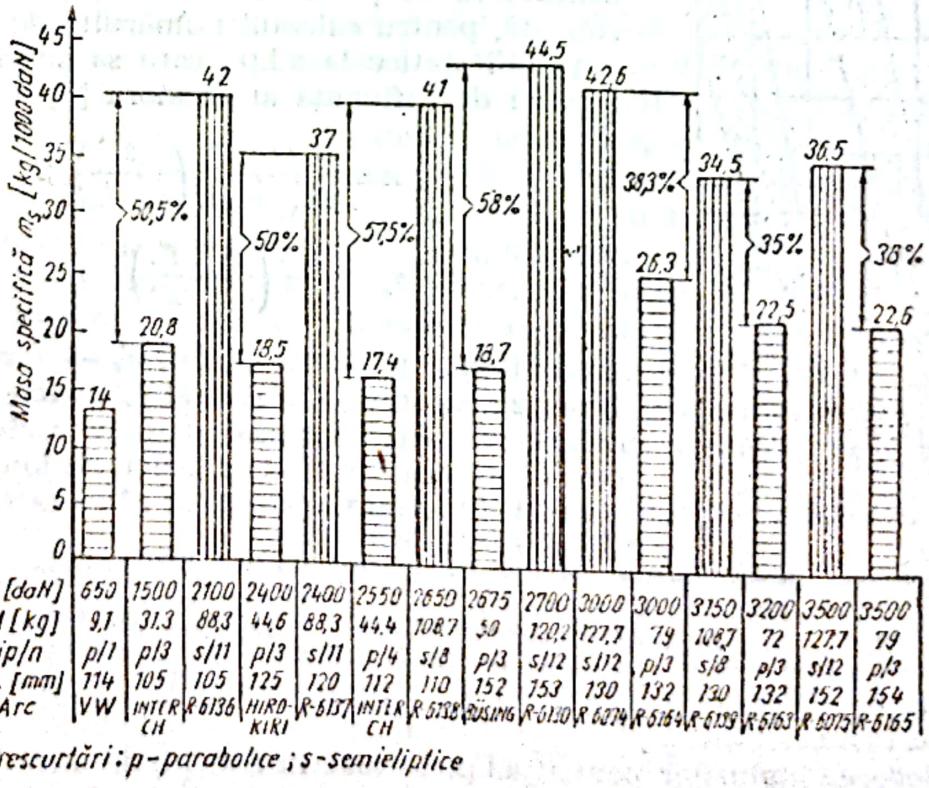


Fig. 6.2. Histogramele maselor specifice pentru diferite tipuri de arcuri.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel pentru a.l.s. m_s=34 ... 44, iar pentru a.l.p. m_s=14 ... 26 kg arc/1 000 daN sarcină statică. Prin introducerea în fabricație a a.l.p. în locul a.l.s. economia valorică se estimează la 1 500—3 000 lei/tona de arc [3].

2. Particularități de calcul al a.l.p. Materiale

La a.l.s. momentul de inerție al secțiunii arcului scade pornind de la centru spre capete, mai lent decît momentul încovoietor. Ca urmare, aceste arcuri nu constituie cu adevărat o grindă de egală rezistență.

La a.l.p. momentul de inerție variază în așa fel încît, în fibrele extreme ale oricărei secțiuni, tensiunea maximă este aceeași. În conformitate cu fig. 6.3, punînd condiția ca tensiunea maximă să fie constantă pe lungimea foii, rezultă dependența parabolică între înălțimea h(x) și distanța x de la capătul grinzii, respectiv

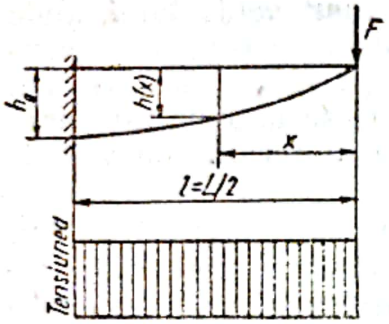


Fig. 6.3. Profilul teoretic al foii de arc lamelar parabolic.

$$h^2(x)=h_0^2\ x/l; \qquad (6.1)$$

$$h^2(x)=6Fx/b\cdot\sigma. \qquad (6.2)$$

Considerații de ordin funcțional, de montaj și tehnologic impun, adesea, renunțarea la profilul teoretic parabolic și înlocuirea lui cu o succesiune de linii frînte.

Se cunosc diferite relații pentru calculul a.l.p., indicate în literatura de specialitate. În continuare se prezintă noi relații, de precizie ridicată, pentru calculul numărului de foi și al tensiunii statice la a.l.p., care să cuprindă toți factorii de influență ai acestora [3]:

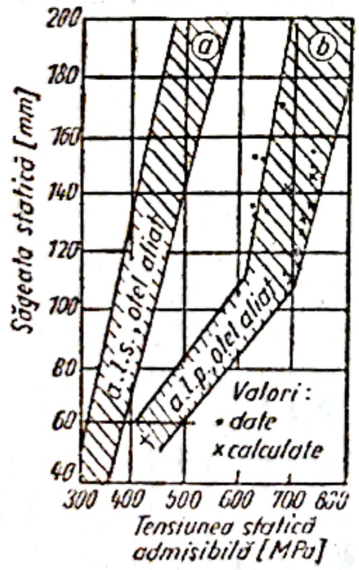


Fig. 6.4. Diagramele tensiunilor statice admisibile.

$$n=\frac{F_s}{2b}\left(\frac{f_s\cdot E}{\varkappa'}\right)^2\left(\frac{3}{\sigma_{as}\cdot L_c}\right)^3; \qquad (6.3)$$

$$\sigma_s=\frac{3905}{L_c}\left(\frac{F_s}{n\cdot b}\ \frac{f_s^2}{\varkappa'^2}\right)^{1/3}, \qquad (6.4)$$

unde: n este numărul de foi; F_s — sarcina statică pe arc, în daN; L_c, b și f_s — lungimea de calcul, respectiv lățimea și săgeata statică, în cm; E, σ — modulul de elasticitate longitudinal respectiv, tensiunea, în MPa; $\varkappa'$ — factor de corecție (v. fig. 6.1).

Tensiunile statice admisibile se aleg în funcție de săgeată. Pentru a.l.s. s-a trasat diagrama *a* din fig. 6.4 iar pentru a.l.p. s-a trasat diagrama *b* construită [3] pe baza a 21 tipuri de a.l.p. ale căror caracteristici au fost cunoscute.

Alegerea oțelurilor pentru a.l.p. se face în funcție de durata de serviciu, de nivelul tensiunilor maxime și de nivelul tehnic al procesului de fabricație a arcurilor.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucît a.l.p. lucrează cu tensiuni de serviciu foarte mari, utilizînd la maxim proprietăţile de rezistenţă ale materialului, ele intră în categoria arcurilor de performanţă. Ca urmare, se fabrică, în exclusivitate, din oţeluri aliate, fără siliciu (tabelul 6.1).

Tabelul 6.1. **Recomandări privind oţelurile utilizate pentru a.l.p. de la suspensia auto**

Firma, ţara	Grosimea foii, mm	Tipul oţelului	Duritatea, *HB*	R_m, MPa
Hösch, R.F.G.	16 18 25 40	Cr—Mn (0,5% C) Cr—Mn (0,6% C) Cr—Mn—V (0,5% C)	415—460	1440—1640
S.U.A.	8—16 16—37 40	Cr—Mn (0,5% C) Cr—Mn (0,6% C) Cr—Mn—V		
MAN, R.F.G.	24	50 VCr 4 DIN 17200	392—430	1350—1500
România	24	Cr—Mn—V (51VCr11A)	392—430	1350—1500
Alte firme	43	Cr—Mo—Ni		

În vederea asigurării unei rezistenţe ridicate la oboseală oţelurile din care se execută a.l.p. trebuie să aibă o limită de elasticitate înaltă, precum şi o ductilitate corespunzătoare. Întrucît creşterea rezistenţei la oboseală impune creşterea rezistenţei la rupere, iar a.l.p. sînt arcuri de performanţă, ce lucrează la tensiuni de serviciu mari, este necesar să se utilizeze numai oţeluri aliate pentru arcuri, cu minimum 0,5% carbon. Ca elemente de aliere se folosesc crom, mangan, vanadiu, molibden (v. tabelul 6.1). Oţelurile cu siliciu au proprietăţi bune de elasticitate dar au tendinţa de decarburare şi de formare a unor defecte superficiale în timpul prelucrării la cald, precum şi tendinţa de grafitizare, care scade rezistenţa la oboseală. Deoarece stratul de carbon conduce la o scădere foarte mare a duratei de serviciu (tabelul 6.2), se vor evita oţelurile aliate cu

Tabelul 6.2. **Influenţa grosimii stratului decarburat asupra duratei de serviciu a a.l.p.**

Grosimea stratului decarburat, mm	Durata de serviciu, mii cicluri	
	min.	max.
0	1200	—
0,05	470	—
0,10	230	800
0,15	160	410

Scanned with OKEN Scanner

siliciu. Conținutul de carbon, de elemente de aliere, precum și granulația austenitică, trebuie să asigure o adîncime de pătrundere a căldurii, astfel încît, în centrul oricărei secțiuni de pe lungimea foii a.l.p., conținutul de martensită să fie de minimum 80%. Întrucît grosimea foii variază pe lungime, este necesară asigurarea unei viteze de răcire diferențiată astfel ca, după revenire, variația durității pe grosime să nu depășească două unități *HRC*.

Asupra rezistenței la oboseală o foarte mare influență are gradul de puritate a oțelului. Scăderea dimensiunilor incluziunilor de la $3 \cdot 10^{-2}$ mm, pînă la incluziuni disperse de ordinul $3 \cdot 10^{-4}$ mm poate să conducă la dublarea rezistenței la oboseală pentru un oțel cu $R_m =$ 1 750 MPa. În concluzie oțelul trebuie elaborat în cuptor electric, degazat și, eventual, retopit în vid sau sub strat de zgură.

Dat fiind că profilul foilor se realizează prin deformare plastică, oțelul trebuie să aibă caracteristici garantate de plasticitate.

Pe baza celor arătate mai înainte rezultă că singurul oțel autohton, asimilat, care satisface condițiile impuse, este 51 VCr 11 A, STAS 795-84. Acest oțel are limită de elasticitate, limită de curgere și rezistență la rupere ridicate, o călibilitate corespunzătoare pentru grosimi ale foilor pînă la 24 mm și o susceptibilitate redusă la decarburare și la creșterea grăuntelui. Oțelul trebuie livrat pe baza unui caiet de sarcini sau în starea de livrare 2, STAS 5940-79, cu precizări suplimentare privind îngustarea benzii de călibilitate, a purității, a stratului decarburat și a stării suprafeței.

3. Tehnologii de realizare a a.l.p. Realizări efective pe plan mondial

Pentru prelucrarea prin deformare plastică a foilor ce compun a.l.p. este necesară alegerea procedeului tehnologic optim, pe baza căruia trebuie să se proiecteze și să se realizeze utilajul necesar. În tabelul 6.3 se propune [3] o clasificare a procedeelor de laminare a profilelor cu secțiune variabilă, profile din care fac parte și foile a.l.p.

La alegerea procedeului tehnologic de laminare optim trebuie să se aibă în vedere anumite criterii sau condiții impuse cerute de calitatea produsului, de parametrii tehnici și economici de fabricare a acestuia. Modul de variație a grosimii și lățimii foii de arc determină în mod hotărîtor, procedeul de laminare la cald a acestuia.

Forma practică a *foilor*, ce compun a.l.p. (v. fig. 6.1), nu corespunde întocmai celei teoretice (v. fig. 6.3), ea fiind determinată de asigurarea posibilității de montare a porțiunii centrale a arcului de axa roților de rulare și a extremităților arcului de cercelul sau suportul șasiului.

Lățimea foii poate fi variabilă sau constantă și determină folosirea a două grupe mari de utilaje: prima permite realizarea de profile cu secțiune variabilă și cu lățire spre capete, iar a doua grupă realizează profile cu grosime variabilă la lățime constantă.

Cu ajutorul utilajelor de laminare periodică longitudinală se fabrică foile cu grosime variabilă și lățire spre capete. Cu aceste utilaje se realizează o productivitate ridicată, dar au o flexibilitate scăzută de fabricație, dată fiind legătura dintre diametrul de lucru al cilindrilor și lungimea pe-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.3. **Clasificarea procedeelor de laminare a profilelor cu secţiune variabilă**

<table>
<tr><td rowspan="8">Cu distanţă interaxială constantă</td><td rowspan="3">Între doi cilindri</td><td rowspan="2">Cu rază variabilă</td><td rowspan="2">Cu turaţie sincronă</td><td>Periodică longitudinală</td><td colspan="2">Cu matriţe inelare</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Longitudinală singulară</td><td>cu matriţe inelare</td><td rowspan="2">— fără tracţiune anterioară
— cu tracţiune anterioară</td></tr>
<tr><td>cu matriţe segmenţi</td></tr>
<tr><td>Cu rază constantă</td><td>Cu turaţie nesincronă</td><td colspan="3">Periodică longitudinală</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3">Longitudinală singulară — fără tracţiune anterioară
— cu tracţiune anterioară</td></tr>
<tr><td>Între patru cilindri</td><td colspan="2">(doi orizontali şi doi verticali) Cu rază variabilă şi turaţie sincronă</td><td>Periodică longitudinală</td><td>succesivă
simultană</td><td>— cu matriţe inelare
— cu matriţe segmenţi</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Între un cilindru şi o placă mobilă</td><td colspan="2">Cilindri cu rază variabilă şi placă mobilă dreaptă</td><td rowspan="3">Longitudinală singulară</td><td>cu matriţe segmenţi</td><td rowspan="2">— fără limitarea lăţirii
— cu limitarea lăţirii</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cilindri cu rază const. şi placă mobilă înclinată</td><td>fără tracţiune anterioară</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">cu tracţiune anterioară</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Cu distanţă interaxială variabilă</td><td rowspan="3">Între doi cilindri</td><td rowspan="3">Cu rază constantă</td><td rowspan="3">Cu turaţie sincronă</td><td>Periodică longitudinală</td><td colspan="2">— cilindri cu calibru
— cilindri netezi</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Singulară longitudinală</td><td colspan="2">cilindri cu calibru</td></tr>
<tr><td>cilindri netezi</td><td>— fără tracţiune anterioară
— cu tracţiune anterioară</td></tr>
<tr><td>Între patru cilindri</td><td colspan="2">(doi oriz. şi doi vertic.) cu rază constantă şi turaţie sincronă)</td><td colspan="3">Periodică longitudinală</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Între un cilindru şi o placă mobilă</td><td rowspan="2">Cu rază constantă</td><td rowspan="2">Longitudinală singulară</td><td>Cu placă înclinată fără tracţiune anterioară</td><td>— fără limitarea lăţirii
— cu limitarea lăţirii</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cu placă dreaptă şi cu tracţ. anterioară</td></tr>
</table>

rioadei. De asemenea, foile cu lăţire spre capete presupun un consum de metal cu pînă la 5% mai mare decît cele cu lăţime constantă, iar raportul dintre grosimea foii la mijloc şi la capete nu poate fi mai mare de 2—2,5.

Pentru a asigura creşterea duratei de serviciu în exploatare marginile foii trebuie să fie rotunjite, deci este exclusă laminarea în calibru. Astfel, utilajele de fabricare a foilor cu secţiune variabilă la lăţime constantă şi cu margini rotunjite realizează laminarea singulară a cîte unui capăt de foaie, după debitarea foii şi încălzirea prealabilă pe o jumătate

Scanned with OKEN Scanner

de lungime, concomitent cu aplicarea unei tracțiuni anterioare. Aceste tipuri de utilaje au avantajul unei flexibilități ridicate de fabricație, trecerea de la fabricarea unui tip de foaie la altul făcîndu-se cu ușurință. În schimb au o productivitate mult mai mică decît cele din prima categorie. Aceasta se recomandă intreprinderilor din țara noastră care trebuie să fabrice un sistem variat de a.l.p., într-un volum de producție relativ mic.

În continuare se prezintă cîteva tipuri de tehnologii de fabricare a profilelor cu secțiune variabilă, în general și a.l.p. în special.

Profilul arcului monolamelar parabolic de la automobilul „Moskvici" se execută [4] pe un laminor construit special pentru fabricarea acestui arc. Semifabricatul inițial, de dimensiuni 90×15×1 500 mm, din oțel Cr-Mn (50 HGA), se încălzește la 1 180—1 200°C într-o atmosferă ușor carburantă, cu cocs, pentru a preîntîmpina decarburarea, timp de 10—12 min, și apoi, se laminează în caja de ebosare la secțiunea de 44×10,5 mm. Laminarea periodică longitudinală se execută într-o cajă cu doi cilindri, cu distanță interaxială constantă, cu matrițe inelare, la temperatura de 980—1 020°C, dintr-un semifabricat din care rezultă 5 foi. După răcirea dirijată abaterea la grosime rezultă $\pm 0{,}15$ mm.

Cu caja cu axă excentrică, prezentată în fig. 6.5, se realizează laminarea profilelor cu secțiune variabilă între doi cilindri netezi, de rază constantă, cu viteze unghiulare diferite. Cilindrul neted superior *2* este montat liber pe un arbore excentric *3*. Cilindrul neted inferior *1* și cel superior *2* sînt acționați prin intermediul cuplajelor *4* și al reductorului *5*, prevăzut cu roți de schimb. Lungimea perioadei de laminare este dată de relația $L_p = 3{,}14D \cdot \omega_2/\omega_1$. Cea mai mare reducere absolută este egală cu dublul excentricității ($\Delta h_{max} = 2e$).

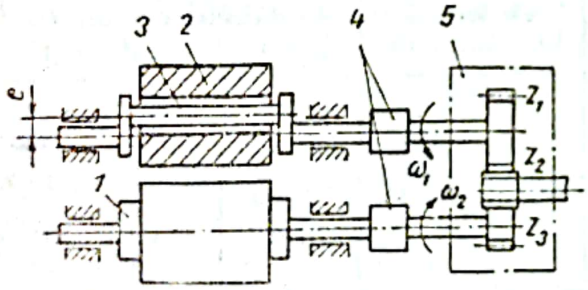


Fig. 6.5. Cajă cu axă excentrică.

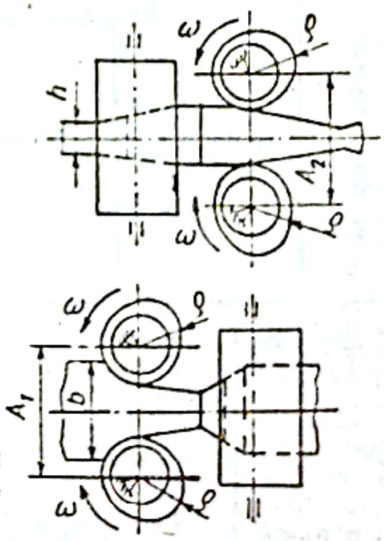


Fig. 6.6. Cajă cu patru cilindri cu distanță interaxială constantă.

În fig. 6.6 se arată o cajă ireversibilă cu patru cilindri, doi verticali și doi orizontali, cu distanță interaxială constantă prevăzuți cu matrițe inelare, pentru laminarea periodică longitudinală; deformarea dintre cilindrii verticali se realizează astfel pe lățime, pentru a putea conferi periodicitate pe înălțime.

Pentru fiecare tip de profil sau foaie de a.l.p., pe cilindrii cajei de laminare se montează alte matrițe inelare.

O soluție îmbunătățită a variantei de mai înainte, cu o flexibilitate de fabricație mărită, este caja ireversibilă cu patru cilindri netezi, doi orizontali și doi verticali, cu distanță interaxială variabilă, pentru la-

Scanned with OKEN Scanner

minare periodică longitudinală (fig. 6.7). Distanța interaxială variabilă dintre cilindrii verticali *1* este asigurată de motorul hidraulic 2, comandat de servomecanismul *3*, pilotat la rîndul său de cama 4, iar cea dintre cilindrii orizontali 5, de către motorul hidraulic *6*, comandat de servosistemul 7, pilotat de cama 8. Legea de variație a distanțelor interaxiale este asigurată de profilul camelor *4* și *8* sau automat, pe baza semnalelor

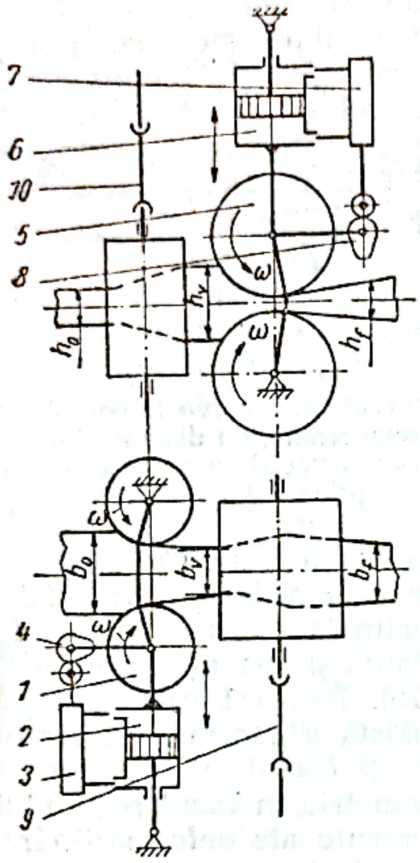


Fig. 6.7. Cajă cu patru cilindri cu distanța interaxială variabilă.

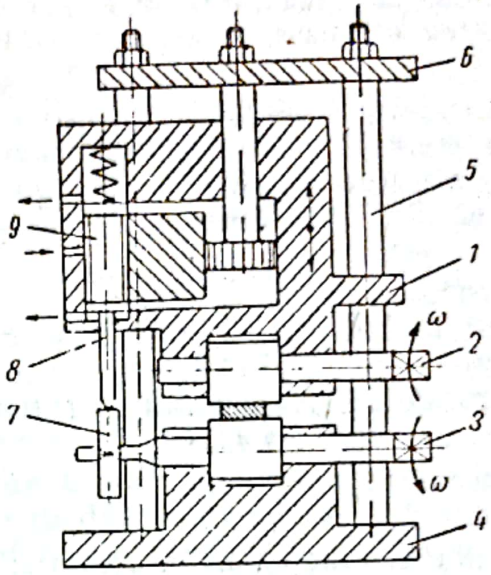


Fig. 6.8. Cajă cu doi cilindri cu distanță interaxială variabilă.

și comenzilor date de aparatele de înregistrare a grosimii, forțelor și lungimii [5]. Calculele arată [3] că pe o asemenea cajă se poate lamina un volum de profile periodice pentru a.l.p. de 300—500 mii tone pe an.

O cajă pentru laminarea longitudinală a foilor de a.l.p. cu lățire spre capete între doi cilindri netezi, cu distanță interaxială variabilă este prezentată în fig. 6.8. Cilindrul superior *2* este montat pe traversa mobilă *1*, care se deplasează pe verticală, ghidată de coloanele 5. Legea de mișcare a cilindrului superior este dată de cama de copiere 7, legată de cilindrul inferior *3*. Motorul hidraulic realizează deplasarea traversei mobile în strînsă legătură cu mișcarea sertarului *9*, pilotat de cama 7.

4. Cercetări privind tehnologia de fabricare prin deformare plastică a foilor a.l.p. și utilajul aferent acesteia

Considerații de ordin tehnologic impun adesea renunțarea la profilul parabolic al foilor și înlocuirea acestora cu o succesiune de linii frînte (fig. 6.9).

Scanned with OKEN Scanner

Forma pană a foii se poate executa printr-unul din procedeele de laminare indicate în tabelul 6.3. În vederea alegerii procedeului optim se impun anumite condiții, ca de exemplu: asigurarea unor muchii rotunjite ale marginii foii; realizarea deformării la lățime constantă; flexibilitatea ridicată de fabricație în condițiile unui sortiment variat de foi și într-un volum de producție relativ mic; complexitatea utilajului,

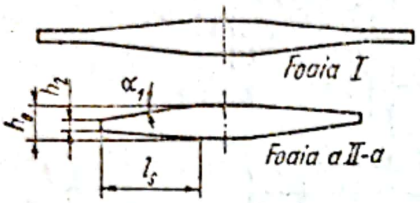


Fig. 6.9. Profilul real al foii de a.l.p.

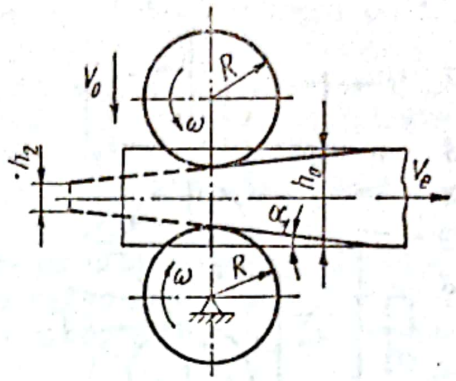


Fig. 6.10. Laminarea între doi cilindri netezi, cu distanță interaxială variabilă și cu tracțiune anterioară.

siguranța în funcționare a acestuia; productivitatea etc. Ca urmare a rezultat procedeul optim ce constă, după încălzirea semifabricatului pe o jumătate de lungime, în laminarea longitudinală singulară, între doi cilindri netezi cu turație sincronă, rază constantă și distanță interaxială variabilă și cu tracțiune anterioară (fig. 6.10). În acest caz laminarea se realizează în regim nestaționar, cînd nu există o constanță a condițiilor de deformare.

În fig. 6.11 este prezentat focarul geometric în cazul regimului nestaționar de deformare pentru diferite momente ale deformării. Întrucît profilul ce se deformează se consideră simetric în raport cu planul meridian, se examinează numai partea superioară a sistemului metal — cilindru de laminare [3].

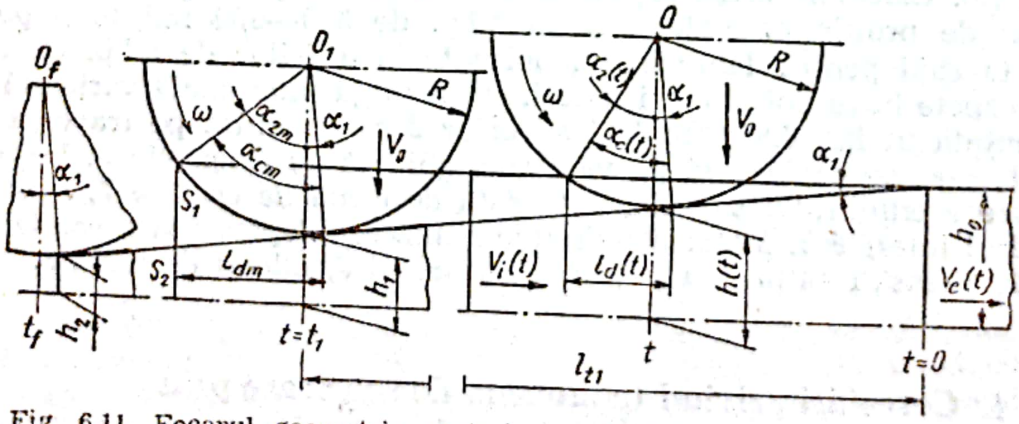


Fig. 6.11. Focarul geometric nestaționar de deformare pentru diferite momente ale deformării.

Deformarea începe la momentul $t=0$, de la înălțimea h_0. Pe parcursul deformării, o serie de parametri variază în timp: semiînălțimea $h(t)$ și gradul de deformare $u(t)$; unghiul de prindere $\alpha_2(t)$, unghiul de con-

tact $\alpha_c(t)$ și proiecția lungimii arcului de contact $l_d(t)$; unghiul neutru $\gamma(t)$ și avansul $s(t)$; viteza de intrare $v_i(t)$ și cea de ieșire $v_e(t)$ a metalului; forța de laminare $F_l(t)$ și de tracțiune $F_t(t)$; momentul $M(t)$ și puterea de laminare $P(t)$. Majoritatea acestor parametri au valori crescătoare și devin maximi la timpul t_1 (fig. 6.11): gradul de deformare u_m; unghiul de prindere α_{2m}, de contact α_{mc} și proiecția lungimii arcului de contact l_{dm}; viteza de ieșire v_{em}; forța de laminare F_{lm} și de tracțiune F_{tm}; momentul M_m și puterea de laminare P_m; pentru ca apoi să scadă la valoarea zero pentru timpul final al deformării t_f.

Față de regimul de deformare staționar, cînd după procesul de prindere există o constanță a parametrilor focarului de deformare pentru regimul nestaționar, trebuie să se cunoască modul de variație și în special valorile maxime ale parametrilor focarului nestaționar de deformare.

În cazul de față, cînd laminarea se efectuează între cilindri netezi, cu distanță interaxială variabilă și cu tracțiune anterioară, s-a impus întîi o cercetare teoretică, cu care ocazie s-au stabilit modelele matematice de bază ale focarului nestaționar de deformare. Verificarea și corectarea modelelor matematice teoretice s-a făcut experimental.

Problemele teoretice deosebite care trebuie cunoscute sînt cele legate de cinematica focarului nestaționar de deformare (vitezele de curgere în diferite secțiuni), de gradul de deformare precum și de parametrii energetici (forța de laminare și de tracțiune, momentul și puterea de laminare). În continuare se va insista numai asupra unora dintre problemele focarului nestaționar de deformare și în special asupra acelor care sînt necesare în vederea proiectării tehnologiei și utilajului de laminare.

Viteza de ieșire instantanee $v_{es}(t)$ necesară pentru dimensionarea mecanismului ce realizează tracțiunea se calculează în funcție de viteza periferică a cilindrilor v_c, de panta profilului α_1 (fig. 6.10) și de avansul instantaneu $s(t)$ cu relația

$$v_{es}(t)=v_c \cos \alpha_1[1-s(t)]. \tag{6.5}$$

Avansul instantaneu în condițiile laminării nestaționare fără lățire și fără tracțiune se calculează cu ajutorul expresiei [4]

$$s(t)=[h_\gamma(t)\cos \gamma(t)+2R(\sin \alpha_1-\sin \gamma(t)]\sin \alpha_1/(h_{\alpha 1}(t)\cos \alpha_1)-1, \tag{6.6}$$

unde $h_\gamma(t)$, $h_{\alpha 1}(t)$ sînt semiînălțimile instantanee în planul neutru, respectiv în planul de ieșire a metalului dintre cilindri. În aceleași condiții unghiul neutru instantaneu se calculează cu relația [4]

$$\gamma(t)=[\alpha_i(t)/2]\,[1-\alpha_c(t)/2\cdot f_m+\alpha_1/f_m], \tag{6.7}$$

iar în condițiile aplicării tracțiunii anterioare, pentru laminarea nestaționară fără lățire, el se determină din echilibrul forțelor în focarul nestaționar cu relația [3]

$$\sin \gamma(t)=[(\sin \alpha_2(t)+\sin \alpha_1)]/2+[(\cos \alpha_2(t)-\cos \alpha_1)]/2f_m+F_t(t)/4f_m p_m(t)Rb, \tag{6.8}$$

unde f_m reprezintă coeficientul mediu de frecare dintre metal și cilindru.

Presiunea medie de laminare p_m se determină prin integrarea ecuației lui T. von Kàrmàn, pe lungimea arcului de contact (fig. 6.12), ținînd

Scanned with OKEN Scanner

cont de aplicarea tracțiunii anterioare, care are ca efect reducerea presiunii de laminare în zona de avans. Luînd în considerare notațiile din fig. 6.12, după integrare se obține formula de calcul a presiunii medii instantanee de laminare [3]

$$p_m(t)=\frac{k}{\Delta h}\left\{\frac{H_0}{\delta-2}\left[\left(\frac{H_0}{h_\gamma}\right)^{\delta-2}-1\right]+\xi_1\frac{h}{\delta+2}\left[\left(\frac{h_\gamma}{h}\right)^{\delta+2}-1\right]+\right.$$
$$\left.+\xi_1\frac{h^2}{h_\gamma(\delta+2)}\left[\left(\frac{h_{\alpha 1}}{h}\right)^{\delta+2}-1\right]\right\}, \qquad (6.9)$$

unde k reprezintă rezistența la deformare pentru starea de tensiune dată ($k=\beta K_f$); K_f — limita de curgere la întindere liniară; $\beta=1{,}1547$, coeficientul lui Lode pentru starea de deformare plană; Δh — reducerea absolută

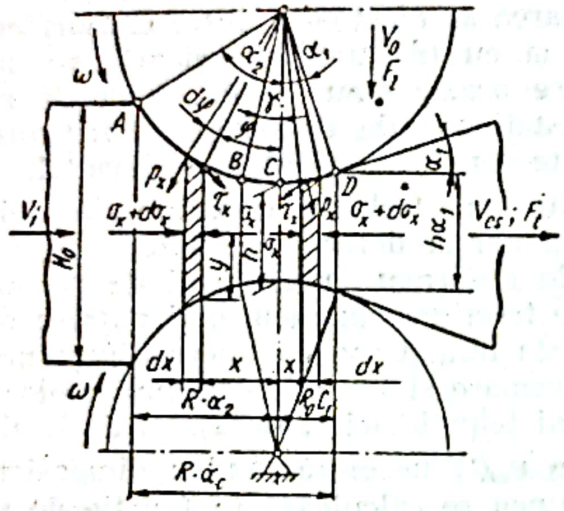


Fig. 6.12. Schema de acțiune a forțelor în focarul nestaționar.

($\Delta h=H_0-h$); $\delta=f_m/(\operatorname{tg}\alpha_2/2)$; ξ_1 —coeficient prin care se ține cont de influența tracțiunii asupra presiunii medii de laminare [$\xi_1=1-(\sigma/k)$]; σ_l — tensiunea de întindere datorită forței de tracțiune. Mărimile h, h_{α_1}, Δh, σ_l, ξ_1 sînt instantanee.

Întrucît valoarea tensiunii σ_{l1} nu se cunoaște, pentru comoditatea aplicațiilor practice s-a aplicat o altă relație de calcul a presiunii medii [4], prin care nu s-a luat în considerare influența tracțiunii, iar după cercetarea experimentală s-au aplicat corecțiile necesare, respectiv

$$p_m=k[1/(\alpha_1+\alpha_2)]\{2[\sqrt{h/R}-f_m\sqrt{R/h}\,(\gamma-\alpha_1)]\operatorname{arctg}(\sqrt{R/h}\,\alpha_2)+$$
$$+4f_m\sqrt{R/h}(\gamma-\alpha_1)\operatorname{arctg}\sqrt{R/h}(\gamma-\alpha_1)+$$
$$+2[\sqrt{h/R}-f_m\sqrt{R/h}\,(\gamma-\alpha_1)]\operatorname{arctg}(\sqrt{R/h}\,\alpha_1)+$$
$$+(\gamma-\alpha_1)\ln\frac{1+(R/h)\alpha_2^2}{1+(R/h)\alpha_1^2}+f_m\ln\frac{[1+(R/h)\alpha_2^2][1+(R/h)\alpha_1^2]}{[1+(R/h)(\gamma-\alpha_1)^2]^2}-(\alpha_1+\alpha_2)\Big\}. \qquad (6.10)$$

Forța de laminare instantanee se calculează cu ajutorul expresiei:

$$F_l(t)=p_m(t)bl_d(t),$$

unde b reprezintă lățimea foii iar $l_d(t)$ proiecția lungimii instantanee a arcului de contact.

Scanned with OKEN Scanner

Forța de tracțiune se determină cu ajutorul coeficientului de tracțiune $C(t)$, în funcție de forța de laminare, din relația

$$F_l(t)=C(t)F_l(t). \tag{6.12}$$

Coeficientul de tracțiune se calculează pornind de la echilibrul forțelor în focarul de deformare [3], cu relația

$$C(t)=2c(t), \tag{6.13}$$

unde $$c(t)=f_m\frac{\alpha_1+\gamma(t)}{\alpha_1+\alpha_2(t)}\cos\frac{\gamma(t)-\alpha_1}{2}-f_m\frac{\alpha_2(t)-\gamma(t)}{\alpha_1+\alpha_2(t)}\cos\frac{\alpha_2(t)+\gamma(t)}{2}+\sin\frac{\alpha_2(t)-\alpha_1}{2}. \tag{6.14}$$

Momentul de laminare instantaneu se determină prin luarea în considerare a forțelor ce nu trec prin axa de rotație (fig. 6.12), adică forțele de frecare și forța de tracțiune [3], cu expresia

$$M(t)=2p_m bR^2 f_m(\alpha_1+\alpha_2-2\gamma)-F_t(R+h). \tag{6.15}$$

În practica inginerească, pentru laminarea nestaționară între doi cilindri cu distanță interaxială variabilă și cu tracțiune anterioară la lățime constantă este necesar să se calculeze, în special, viteza de ieșire, forța de laminare și de tracțiune, momentul de laminare. Calculele se pot efectua pentru diferiți timpi ai deformării sau pentru timpul t_1, cînd valorile parametrilor mai înainte enumerați sînt maxime.

Calculul timpului t_1 se efectuează (v. fig. 6.11) prin integrarea ecuației

$$l_{t_1}=\int_0^{t_1} v_c\cdot\cos\alpha_1(1+s)dt. \tag{6.16}$$

În studiul teoretic al procesului nestaționar de deformare s-a utilizat calculatorul [3]. Pentru diferiți timpi ai deformării, cu un pas de 0,3 secunde, s-au calculat următorii parametri ce caracterizează procesul de deformare: l_s; l_{t1}; t_1; v_i; v_{es}; γ; α_2; l_d; p_m; F_l; C; F_t. Au fost luați în considerare următorii parametri de intrare (v. fig. 6.9; fig. 6.13):

H_0 =22; 24 mm;
H_2 =6,65; 10,8; 12,5 mm;
b =90 mm;
α_1 =60; 57,5; 65 min;
R =100; 120; 140 mm;
n =12; 15; 18 rot/min;
f_m =0,25; 0,30; 0,35;
K_f =6; 8; 10 daN/mm².

În tabelul 6.4 se prezintă influența creșterii procentuale a parametrilor de intrare (rezistența la deformare, gradul maxim de deformare, raza cilindrilor, panta profilului, coeficientul mediu de frecare, turația cilindrilor) asupra creșterii procentuale a forței de laminare și de tracțiune. În paranteză este prezentat un indicator, care reprezintă creșterea procentuală a parametrului de ieșire (forța de laminare și de tracțiune) la creșterea cu un procent a parametrului de intrare și se calculează ca un raport dintre datele din coloana 3 respectiv coloana 4 și datele din coloana 2. Din studiul teoretic făcut [3] rezultă că asupra forței de laminare influență mare are rezistența la deformare, influență medie au raza cilindrilor și gradul maxim de deformare și influență mică au panta profilului, coeficientul mediu de frecare și turația cilindrilor. Asupra

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.4. **Influența parametrilor de intrare asupra forței de laminare și de tracțiune**

Nr. crt.	Parametrii de intrare: Denumirea	Creșterea procentuală	Parametrii de ieșire: Creștere procentuală F_l	F_t
1	Rezistența la deformare K_f	25	20 (0, 8)	20 (0, 8)
2	Gradul de deformare U_{max}	15	6 (0, 4)	6 (0, 4)
3	Raza cilindrului R	40	18 (0,45)	33 (0,82)
4	Pantă profil α_1	30	3 (0, 1)	27 (0, 9)
5	Coeficientul de frecare f_m	40	2 (0,05)	43 (1,07)
6	Turația cilindrului n	50	2 (0,04)	2 (0,04)

forței de tracțiune anterioară influență mare au coeficientul mediu de frecare, panta profilului, raza cilindrilor și rezistența la deformare, influență medie are gradul maxim de deformare și influență mică are turația cilindrilor.

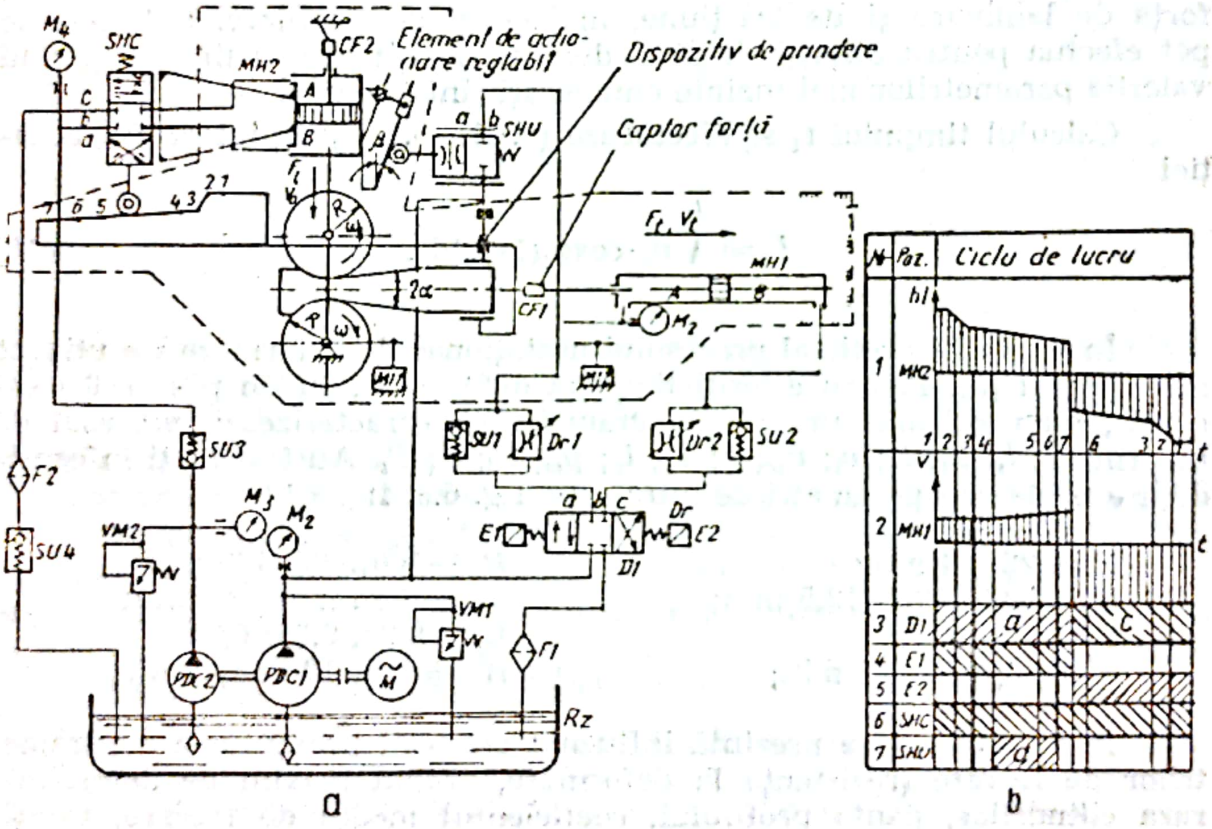


Fig. 6.13. Instalație experimentală pentru deformarea în regim nestaționar fără lățire a profilelor cu secțiune variabilă:
a — schema mecano-hidraulică; *b* — ciclograma de lucru.

Cercetările experimentale confirmă calculele teoretice, ele efectuîndu-se pe un utilaj de laborator cu parametri adecvați, reduși. Scara geometrică de modelare a fost 1 : 5, iar epruvetele utilizate pentru încercări, de dimensiuni 18×4,8 mm au fost executate din PbSb 6 (STAS 672-80). Instalația experimentală (fig. 6.13, fig. 6.14), proiectată și executată la

Scanned with OKEN Scanner

Universitatea din Sibiu, a fost utilizată pentru determinarea parametrilor principali care caracterizează procesul de laminare nestaționară cu tracțiune anterioară. Cilindrii de lucru sînt schimbabili avînd diametrele: 40, 44; 48; 52; 56; 60 mm. Forța de laminare maximă este de 35 kN, iar cea de tracțiune 12 kN și sînt realizate hidraulic. Legea de deplasare a cilindrului superior se asigură cu ajutorul unui sistem de copiere hidraulic, după șa-

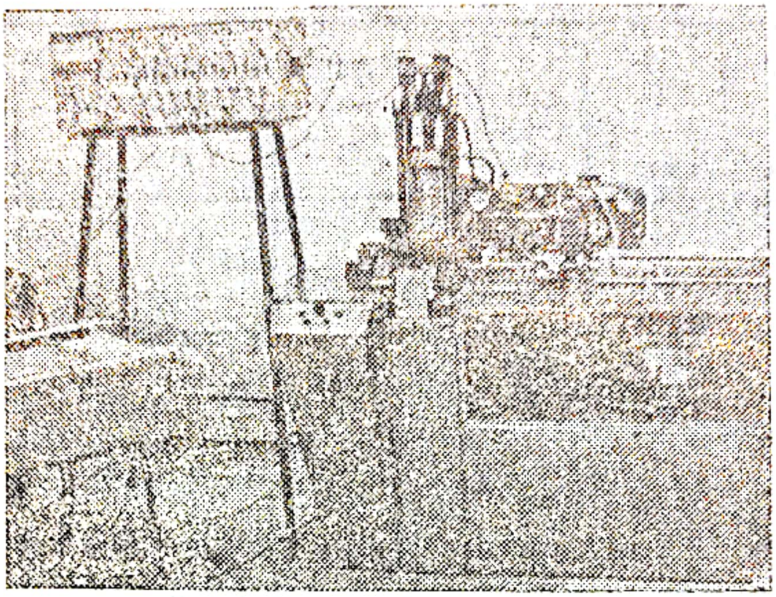


Fig. 6.14. Vedere a instalației experimentale din fig. 6.13, *a*.

blon. Pentru realizarea laminării la lățime constantă instalația este prevăzută cu un sistem hidraulic de urmărire. Antrenarea cilindrilor se realizează cu un motoreductor, roți de schimb pentru turațiile 11,5; 13,3; 17,5 rot/min, cajă de angrenare și arbori cardanici. Traductoarele de forță CF 1 și CF 2, puntea tensiometrică și înregistratorul x—y permit trasarea curbelor de variație a forței de laminare și a celei de tracțiune.

Transferul datelor obținute pe utilajul de laborator, la nivelul de mașină reală, se poate realiza cu ajutorul modelării fizice prin similitudine [3].

S-au comparat forțele de laminare și de tracțiune maxime, corespunzătoare timpului t_1, obținute prin modelarea matematică cu ajutorul calculatorului cu cele măsurate experimental.

S-a putut conchide că relațiile matematice (6.10) și (6.11) utilizate la calculul forței de laminare, la laminarea foilor de arc în regim nestaționar, a foilor a.l.p., pot fi utilizate în activitatea de proiectare, fapt verificat și la laminarea la cald a foilor pe laminorul real de la I.P.A. Sibiu.

În ceea ce privește forța de tracțiune au rezultat diferențe între cea teoretică calculată cu relațiile (6.7, 6.12, 6.13, 6.14) și cea măsurată experimental. S-a stabilit că unghiul neutru are o influență considerabilă asupra forței de tracțiune. Cu ajutorul coeficientului de tracțiune $C_t = F_t/F_l$, stabilit pe cale experimentală, pentru diferite geometrii ale focarului de deformare, s-au calculat valorile reale ale unghiului neutru, prin rezolvarea ecuației transcendente (6.14), valori prezentate în tabelul 6.5.

La proiectare sînt necesare valorile maxime, la timpul t_1, ale forței de laminare și de tracțiune și ale momentului de laminare, valori ce se obțin parcurgîndu-se următoarele etape:

Scanned with OKEN Scanner

1) *Alegerea razei cilindrilor.* Cînd se urmărește reducerea forței de laminare se recomandă cilindri cu diametre mai mici, iar cînd se urmărește realizarea unui număr minim de treceri (grad de deformare mare) se recomandă cilindri cu diametre mai mari. Se impune execuția cilindrilor din oțel călit și rectificați.

Tabelul 6.5. **Valori teoretice și experimentale ale unghiului neutru**

Poz.	$\frac{H_0}{H_2}$ mm	R mm	α_1 min	Modelare matematică		experimental	$\Delta\gamma\%$
				α_{2m} grd	γ grd	γ_e grd	
1	24 / 12,5	100	50	*19,6*	4,64	5,6	20,7
2		140	65	*15,3*	5,29	6,6	24,8

2) Calculul unghiului maxim de prindere, α_{2m}, prin rezolvarea ecuației transcendente

$$[(\sin\alpha_1+\sin\alpha_{2m})\cdot(1+\sin\alpha_1\sin_{2m})/\cos\alpha_1+(\cos\alpha_1-\cos\alpha_{2m})\cdot$$
$$\cdot\sin\alpha_{2m}-(\alpha_1+\alpha_{2m})]\cdot R^2/2-\{[h_0\cos\alpha_1-R(1-(\alpha_1+\alpha_{2m})]^2-$$
$$-(h_2-\cos\alpha_{2m})^2\}/\sin2\alpha_1=0, \qquad (6.17)$$

unde $h_0=H_0/2$ și $h_2=H_2/2$ (v. fig. 6.9).

3) Calculul unghiului neutru γ, în condițiile aplicării tracțiunii anterioare, corespunzător timpului t_1, cînd $\alpha_c=\alpha_{cm}=\alpha_1+\alpha_{2m}$, se efectuează cu relația (6.7), valoare ce se va corecta cu datele rezultate din cercetarea experimentală (tabelul 6.5), respectiv

$$\gamma_1=\psi\gamma;\quad \psi=\gamma_1/\gamma. \qquad (6.18)$$

4) Calculul lungimii maxime a proiecției arcului de contact

$$l_{dm}=R(\sin\alpha_{2m}-\sin\alpha_1). \qquad (6.19)$$

5) Calculul semiînălțimii maxime h_1, corespunzătoare timpului t_1 (v. fig. 6.11) se face cu relația

$$h_1=H_0/2+R(\cos\alpha_{2m}-1). \qquad (6.20)$$

6) Calculul presiunii medii de laminare p_{m1} la timpul t_1, cu relația (6.10), în care $h=2h_1$.

7) Calculul forței maxime de laminare

$$F_{lm}=p_{m1}\cdot b\,l_{dm}. \qquad (6.21)$$

8) Calculul coeficientului de tracțiune C_1, la timpul t_1, cu relațiile (6.13) și (6.14), în care $\gamma=\gamma_1$; $\alpha_2=\alpha_{2m}$.

9) Calculul forței maxime de tracțiune

$$F_{tm}=F_{lm}\cdot C_1. \qquad (6.22)$$

10) Calculul momentului maxim se efectuează cu relația (6.15), în care $p_m=p_{m1}$; $\alpha_2=\alpha_{2m}$; $\gamma=\gamma_1$; $F_t=F_{tm}$; $h=h_1$.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru dimensionarea mecanismului de tracțiune trebuie să se cunoască și valorile vitezelor de curgere a metalului la ieșirea din focarul de deformare.

Viteza de ieșire a metalului dintre cilindri la timpul zero, cînd cilindrii intră în contact cu foaia de arc se calculează cu expresia

$$v_{cc}=v_c \cos \alpha_1=\frac{3{,}14nR}{30}\cos \alpha_1, \tag{6.23}$$

iar viteza de ieșire, la timpul t_1, cu relația

$$v_{se}=v_c \cdot \cos \alpha_1 \cdot (1+s_1), \tag{6.24}$$

unde avansul s_1, corespunzător lui t_1, se calculează cu relația (6.6), iar h_γ și $h_{\alpha 1}$ sînt valori corespunzătoare timpului t_1.

Celelalte date necesare pentru proiectare se calculează utilizînd procedeele și metodele clasice ce se găsesc în literatura de specialitate [6].

În concluzie, în urma cercetărilor teoretice și experimentale se pun la dispoziția industriei datele necesare pentru proiectarea utilajului de laminare nestaționară între doi cilindri, la variația distanței între axe și cu tracțiune anterioară.

La Întreprinderea de Piese Auto Sibiu s-a proiectat și executat o linie de laminare a foilor a.l.p. și care se compune din: 1) cuptor de încălzire cu gaz, continuu, cu poziția verticală a foilor pentru reducerea

Fig. 6.15. Linie de laminare a foilor a.l.p.

Scanned with OKEN Scanner

lungimii cuptorului, cu reglaj automat al temperaturii; 2) sistem de alimentare automată a cajei de laminare, cu jgheab și ridicător pneumatic; 3) căi cu role pentru alimentarea și evacuarea automată a cajei de laminare; 4) cajă de laminare (fig. 6.15).

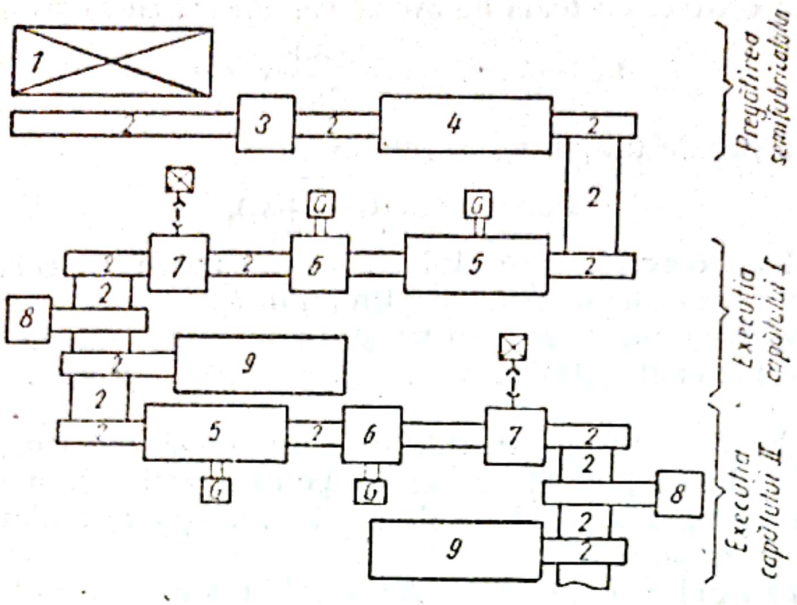


Fig. 6.16. Linie tehnologică pentru executarea foilor arcurilor lamelare parabolice:

1 — depozit; *2* — transportor; *3* — presă pentru debitare; *4* — instalație de curățire a suprafeței; *5* — instalație de încălzire prin rezistență de contact; *6* — instalație cu CIF, pentru uniformizarea temperaturii; *7* — laminor; *8* — presă de debitare; *9* — cameră de răcire dirijată.

Caja de laminare are cilindrul superior, mobil, montat pe o traversă mobilă care se deplasează pe patru coloane. Forța de laminare este asigurată de trei motoare hidraulice. Legea de variație a deplasării cilindrului mobil se asigură prin copiere mecanică, cu ajutorul unui șablon. Mecanismul de tracțiune este acționat de un motor hidraulic a cărui deplasare este comandată de un mecanism de urmărire ce asigură laminarea la lățime constantă. Caracteristicile tehnice principale sînt: diametrul cilindrilor de laminare 240 mm; forța de laminare max. 500 kN; forța de tracțiune max. 150 kN; momentul de laminare max. 20 kN·m; puterea instalată 102 kW.

În § 2 s-a arătat influența covîrșitoare a calității semifabricatului în general și a stratului decarburat în special asupra duratei de serviciu a a.l.p. În fig. 6.16 este arătată o linie tehnologică de prelucrare a foilor ce compun a.l.p. care răspunde deziderateloor de mai înainte.

5. Posibilități de extindere a prelucrării prin deformare plastică în regim nestaționar

În afară de fabricația foilor ce compun a.l.p., deformarea în regim nestaționar a profilelor cu secțiune variabilă se poate aplica și în alte domenii de activitate. În acest sens se cuvine să amintim arcurile lame-

Scanned with OKEN Scanner

lare pentru vagoane, care sînt prevăzute cu canale și proeminențe longitudinale. Întrucît condițiile de solicitare sînt diferite se impune experimentarea a.l.p. pentru vagoane, în exploatare, în vederea adaptării unor forme constructive optime care să garanteze condițiile de securitate în funcționare. După definirea formei constructive și a materialului pentru aceste arcuri se va adapta tehnologia (v. tabelul 6.3) și utilajul optim pentru deformarea acestor foi.

Un alt domeniu de aplicare a profilelor cu secțiune variabilă îl constituie fabricarea longeroanelor pentru aripi de avion, care în prealabil trebuie modificate sub raport constructiv. Acestea se pot executa din aliaje neferoase ușoare prin laminare la rece în regim nestaționar. Pe lîngă efectul pozitiv determinat de creșterea caracteristicilor mecanice, ca urmare a fenomenului de ecruisare, fibrajul și granulația obținute conduc la creșterea considerabilă a rezistenței la oboseală. Ținînd cont de natura solicitărilor, în special vibrații, proprietățile dobîndite sînt extrem de importante. Evident, pentru aplicare, sînt necesare experimentări corespunzătoare.

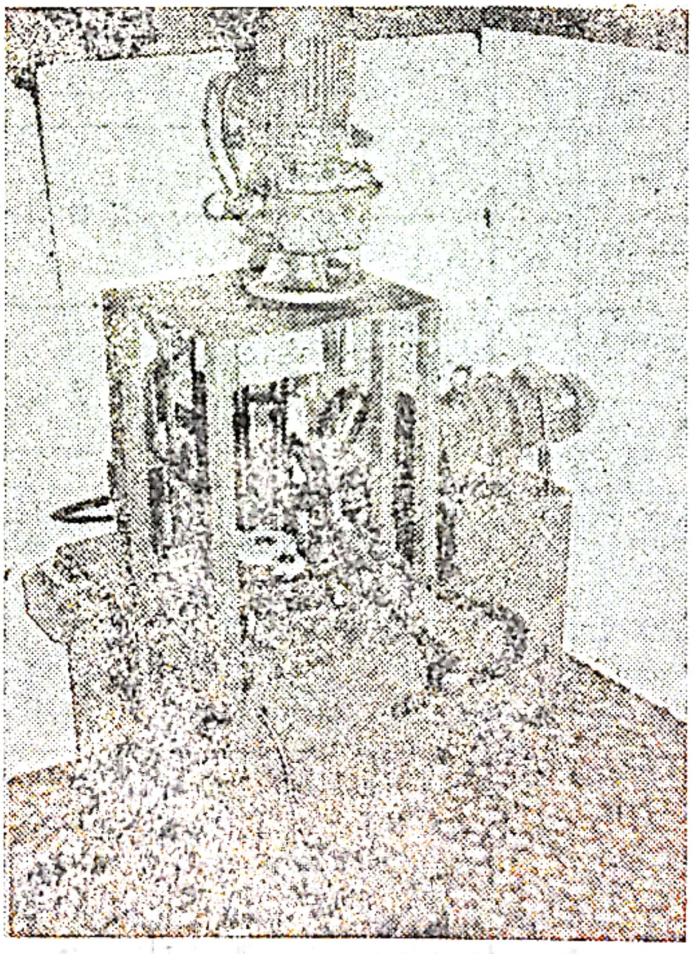


Fig. 6.17. Cajă experimentală cu patru cilindri pentru realizat profile periodice.

În industrie în general și în construcția mașinilor de ridicat în special se întîlnesc diverse organe de mașini la care momentele de încovoiere sînt variabile, ceea ce impune, pentru utilizarea rațională a mate-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.6. **Caracteristicile unor arcuri lamelare semieliptice (S) şi parabolice (P) fabricate de diferite firme**

Nr. crt.	Autovehiculul	Sarcina statică Fs, daN	Lungimea arcului L, mm	Lăţimea mm		Grosimea foii, mm		Tensiunea statică σ_s, MPa	Săgeata statică f_s, mm	Număr de foi n	Tipul arcului	Masa arcului M, kg	Capacitatea de încărcare C_s, daN/kg	Masa specifică m_s, kg/1000 daN
				în centru	la capete	în centru h_0	la capete h							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	HONDA	225	1 200	50	52,4	9	6	735	132	1	p	4,6	49	20,4
2	suplimentar	50	645	50	50	13	4,5	426	55	1	p	2,5	20	50
3	FORD TRANZIT	355	1 200	60,5	60,3	12,7	6,7	640	100	1	p	6,01	50	16,9
4	SHAJY	400	1 593	57,5	68	24,5	8,7	740	190	1	p	11	36,5	27,5
5	VOLKSWAGEN	650	1 365	60	62	13,85	9,1	—	114	1	p	9,1	71,5	14
6	suplimentar	140	940	60	60	21	6,5	257	30	1	p	5,7	24,5	40,1
7	SETRA	1 200	1 650	100	100	15	10	670	170	2	p	38,3	31,3	32
8	INTER-CHEVROLET	1 500	1 333	101,6	101,6	13,6	—	596	105	3	p	31,3	47,9	20,8
9	ROMAN 6059	1 900	1 600	80		11		456	100	10	s	78,5	24	41,5
10	ROMAN 6136	2 100	1 600	80		11		454	105	11	s	88,3	24	42
11	ROMAN 6079	2 300	1 600	80		11		550	127	10	s	78,7	29	34
12	ROMAN 6137	2 400	1 600	80		11		518	120	11	s	88,3	37	37
13	HIROKIRI	2 400	1 372	100	105	16	9	615	92,5	3	p	44,6	54	18,5
14	INTER-CHEVROLET	2 550	1 333	101,6	102,6	13,6	—	678	112	4	p	44,4	57,4	17,4
15	ROMAN 6615	2 600	1 600	80		12 şi 15(1)		570	132	21	s	156,3	26,3	38
16	suplimentar	1 500	1 600	80		12		242	28,5	9	s			
17	HIROKIRI	2 620	1 230	89	45	15,1	10,2	600	85	4	p	43,3	60,19	16,4
18	ROMAN 6138	2 650	1 800	90		14		492	110	8	s	108,7	24,4	41
19	BÜSSING BS 16S	2 675	1 665	100	99	16,5	11,5	650	234	3	p	60,3	44,4	22,6

Scanned with OKEN Scanner

20	BÜSSING BS 16L	2 675	1 690	80	21,1	11,5	635	157	3	p	50	53,5	18,7
21	ROMAN 6072	2 700	1 800	90	11		540	148	12	s	116,6	23,1	43,2
22	ROMAN 6130	2 700	1 800	90	21		537	153	12	s	120,2	22,5	44,5
23	ROMAN 6599	2 800	1 600	100	12	8	526	126,5	18	s	157,3	27,4	36,3
24	suplimentar	1 500	1 600	100	10		356	31,7	18	s			
25	ROMAN 6601	2 800	1 600	100	12		526	126,4	21	s	176,1	33	30
26	suplimentar	3 000	1 600	100	10		445	49	21	s			
27	ROMAN 6074	3 000	1 800	90	12		505	130	12	s	127,7	23,5	42,6
28	ROMAN 6163	3 200	1 800	90 —	22	11	762	177	3	p	72	44,5	22,5
29	ROMAN 6139	2 150	1 800	90	14		589	130	8	s	108,7	28,9	34,5
30	ROMAN 6073	3 200	1 800	00	11		635	176	12	s	116,6	27,4	36,41
31	ROMAN 6164	3 000	1 800	90 —	24	12	620	132	3	p	79	38	26,3
32	ROMAN 6131	3 200	2 809	90	11		637	163	12	s	120,2	26,6	37,8
33	STEIER față	3 250	1 600	90 —	20	11	720	128	3	p	55,5	58,6	17,07
34	SCANIA față	3 250	1 700	80 —	18	12	705	120	3	p	56,3	57,3	17,3
35	VOLVO față	3 250	1 840	95 —	22	15	726	150	3	p	79,8	40,7	24,6
36	BETFORD față	3 250	1 800	75 —	30	15	—	—	2	p	50,1	64,9	15,4
37	ROMAN 6594	3 300	1 600	200	12	10	620	180	23	s	164,4	26,2	38,2
38	suplimentar	1 000	1 600	100	8		525	78	23	s			
39	ROMAN 6597	3 300	1 600	100	12	10	620	180	28	s	185,4	31,3	32
40	suplimentar	2 500	1 600	100	8		650	103	28	s			
41	BÜSSING-spate	3 400	1 800	100 99	22,2	12,1	720	158	3	p	70,7	48,1	20,8
42	suplimentar	900	1 240	100 99	29,6	14,1	490	60	1	p	18,8	47,9	29,9
43	ROMAN 6075	3 500	1 800	90	12		590	152	12	s	127,7	27,4	36,5
44	ROMAN 6185	3 500	1 800	90 —	24	12	722	154	3	p	79	44,3	22,6
45	ROMAN 6007	4 000	1 540	80	14		410	44	11	s	91,2	43,9	22,8
46	YORK REMORCĂ cu două roți	4 400	1 100	76,5 80	43,5	15	490	25	1	p	19,3	216,5	4,6
47	ROMAN 6004 A	4 630	1 300	90	13		393	61,5	16	s	157,8	29,3	34
48	VOLVO spate	5 000	1 640	95 —	22	15	721	130	5	p	119,3	41,9	23,9

Scanned with OKEN Scanner

rialului, variația momentului de inerție al secțiunii, astfel încît, în fibra exterioară tensiunile să rămînă constante pe toată lungimea grinzii.

Pe un utilaj de laminare conceput după schema prezentată în fig. 6.7 se pot realiza profile periodice în condiții de productivitate foarte ridicată. După debitare, aceste profile deformate în plan orizontal și vertical, pot fi utilizate ca semifabricate pentru realizarea de piese prin matrițare la cald sau la rece, din oțel sau aliaje neferoase. În acest sens la Universitatea din Sibiu a fost proiectată și executată o cajă experimentală (fig. 6.17) cu patru cilindri, după schema din fig. 6.7, pe care se pot efectua cercetări, pentru laminarea spațială, în plan orizontal și vertical, a profilelor periodice ce pot fi utilizate ca semifabricate pentru matrițare, cu următoarele caracteristici tehnice:

— antrenarea cilindrilor schimbabili (∅ 40; 44; 48; 52; 56; 60 mm), de către motoreductor, roți de schimb pentru turațiile 12; 15; 18 rot/min, cajă de angrenare, transmisii cardanice;

— forțele de laminare sînt asigurate de două motoare hidraulice, unul orizontal și altul vertical, de cîte 35 kN fiecare, cursă maximă 50 mm;

— legile de mișcare a cilindrilor mobili se asigură prin servosisteme hidraulice comandate de came.

6. Date privind gradul de implementare a a.l.p. Direcții posibile de perfecționare

Ca urmare a avantajelor tehnice și în special economice, a.l.p. montate la suspensia auto capătă tot mai mare răspîndire. Aceasta reflectă preocuparea fabricanților de arcuri lamelare pentru valorificarea la un nivel superior a resurselor materiale și umane. Un număr tot mai mare de firme, cu tradiții în construcția de autovehicule, utilizează a.l.p., superioare a.l.s. În tabelul 6.6. sînt prezentate caracteristicile principale ale a.l.p. fabricate de diferite firme străine precum și cele fabricate în România (poz. 28, 31, 44). În același timp în tabel sînt prezentate și unele a.l.s. de fabricație autohtonă, în vederea comparării caracteristicilor acestora cu cele ale a.l.p.

Din cele arătate rezultă că este necesar și oportun a se accelera implementarea a.l.p. la suspensia auto, care sînt superioare a.l.s.

În ultimul timp, în special în S.U.A., au început să se experimenteze, să se fabrice și să se monteze, pe autovehicule ușoare arcuri lamelare din materiale nemetalice, compozite. Aceste arcuri conțin una pînă la trei foi și sînt executate după tehnologii speciale din mase plastice, în special rășini epoxidice, armate cu fibră de sticlă. Un astfel de arc se poate realiza în trei variante: cu foi de lățime și grosime constantă; cu lățime constantă și grosime variabilă (parabolic); cu lățime și grosime variabilă. Experiențele au arătat că rezistența la încovoiere și săgeata scad cu creșterea grosimii foilor. Armarea se poate executa longitudinal sau longitudinal-transversal. Tensiunile în aceste arcuri au ajuns deja la

Scanned with OKEN Scanner

valoarea de 650 MPa. Avantajele acestor arcuri față de cele din oțel constau în: durata de serviciu de cinci ori mai mare; capacitatea de amortizare mult mărită; masa de 2—5 ori mai mică; rigiditate transversală de două ori mai mare.

BIBLIOGRAFIE

1. Gorelik, A. M. Malolistovie ressorî. În: Avtomobilnaia promișlenosti (U.R.S.S.), nr. 1, 1981.
2. Long, G. The taper — leaft alternative in vehicle springing. In: Metals und Materials Tehnology (S.U.A.), nr. 5, 1981.
3. Țuțurea, M. Contribuții privind utilajul și tehnologia fabricării prin deformare plastică a foilor de arc cu secțiune variabilă (teză de doctorat). Cluj-Napoca, Institutul Politehnic, 1987.
4. Voronțov, U. M. ș.a. Periodiceskie profili prodolnoi pròkatki. Moscova, Metallurghia, 1978.
5. Haşegawa, Y. ș.a. Metod of an apparatus for producing plate material having uniform width and lengtwise, thicness variation. Brevet S.U.A., nr. 53/90805/03. 02. 1981.
6. Moldovan, V., Maniu, A. Utilaje pentru deformări plastice. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

7

Determinarea profilului sculelor abrazive la detalonarea radială a frezelor-melc

Conf. dr. ing. *Csaba Gyenge*
Institutul Politehnic Cluj-Napoca

Introducere

Datorită variației distanței axiale la rectificarea frezelor-melc, față de poziția constantă — la rectificarea melcilor, procesul de generare cinematică a frezei-disc pentru detalonarea fețelor de așezare a acestor scule prezintă o supradeterminare matematică.

În cadrul lucrării se ridică această supradeterminare și se asigură o precizie înaltă a profilului printr-o nouă soluție de generare care, pe lîngă creșterea durabilității, atrage după sine o reducere substanțială a abaterilor de profil al melcului înfășurător.

În cadrul procesului tehnologic de execuție a frezelor-melc, cea mai dificilă problemă tehnologică o reprezintă prelucrarea de finisare

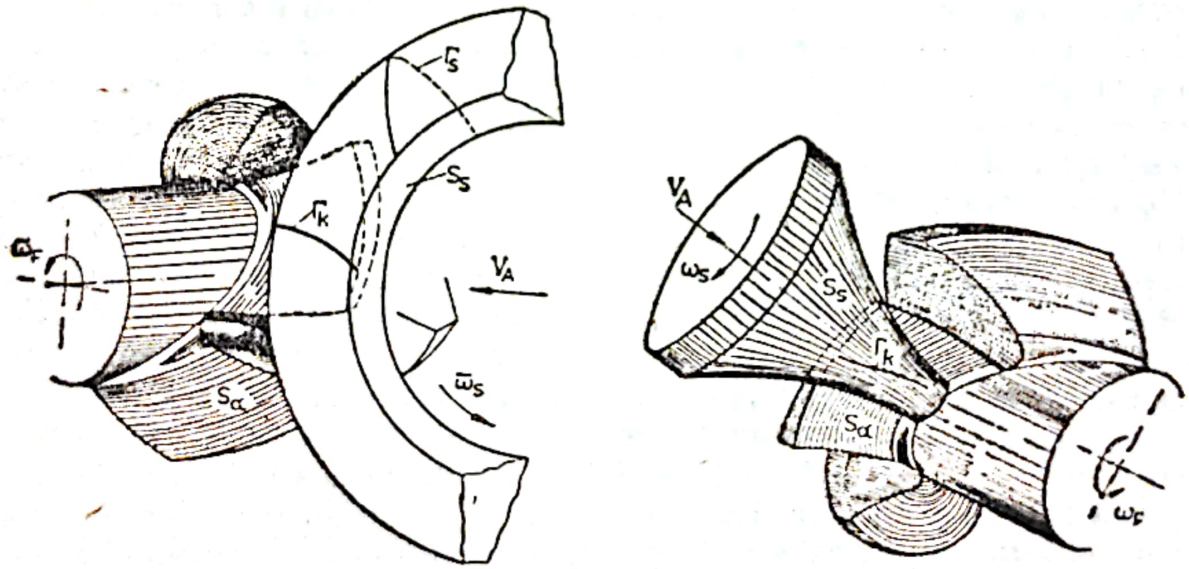


Fig. 7.1. Metode de rectificare prin detalonare radială:
a — cu sculă-disc; *b* — cu sculă-deget.

(rectificarea) fețelor de așezare laterale. În faza de execuție, profilul axial al sculei abrazive este cunoscut. Se deosebesc două metode: rectificarea prin detalonare cu sculă-disc (fig. 7.1, *a*) și cu sculă-deget (fig. 7.1, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

Rectificarea suprafeței detalonate este un proces cinematic. Între sculă și semifabricat, în mișcarea relativă se formează o curbă caracteristică Γ_K (locul geometric al punctelor de contact), care „mătură" fața de așezare S_a.

Alegerea tipului de sculă abrazivă și a metodei de detalonare este în funcție de condițiile tehnologice concrete ale executantului și avîndu-se în vedere particularitățile geometrice ale frezei-melc. Detalonarea cu sculă-disc este mai productivă și mai precisă, deoarece viteza de abrazare variază numai puțin în lungul profilului Γ_s; utilizarea acestei metode este însă limitată prin gabaritul și forma golului dintelui detalonat, și anume, diametrul discului abraziv este limitat, pe de o parte, de dimensiunile și construcția broșei de rectificare, iar pe de altă parte, de spațiul restrîns între dinții învecinați ai frezei-melc și chiar întinderea excesivă a curbei caracteristice Γ_K, de-a lungul feței de așezare. În afară de acestea, rectificarea prin detalonare cu sculă-disc prezintă pericolul cinematic de apariție a interferenței, pericol care se accentuează la un număr de începuturi $Z>2$, la creșterea înălțimii spirei și la descreșterea unghiului de profil [1; p75].

Detalonarea cu sculă-deget are dezavantajul că viteza de abrazare scade simțitor spre vîrful sculei, ceea ce influențează defavorabil precizia de execuție; în schimb are avantajul că se poate utiliza la toate tipurile de freze-melc. Din punct de vedere cinematic, are avantajul că, datorită dimensiunilor mici, curba caracteristică Γ_K este apropiată de profilul axial al sculei și, în cazurile întîlnite în practică, nu este periclitată de fenomenul de interferență.

În legătură cu procesul tehnologic de execuție a frezelor-melc, problema cea mai dificilă este determinarea profilului axial al sculei abrazive. După cum se va demonstra în continuare, determinarea sculei abrazive la detalonarea radială este un proces de calcul matematic supradeterminat, supradeterminare care se poate ridica numai printr-o metodă numerică de optimizare [2].

1. Generarea melcului înfășurător

Melcul înfășurător se consideră cunoscut, ca element determinat de condițiile concrete ale execuției angrenajului și a cinematicii acestuia [3].

De regulă, melcul înfășurător se definește printr-un profil generator Γ_0 (fig. 7.2), exprimat în sistemul de referință Σ_c, în funcție de parametrul independent p, prin relația vectorială:

$$\bar{\rho}_c=\bar{\rho}_c(p)=\begin{vmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{vmatrix}. \tag{1}$$

și de parametrul elicoidal h de expresie:

$$h=m_x Z/2, \tag{2}$$

unde m_x este modulul axial.

Scanned with OKEN Scanner

Impunînd curbei Γ_0 o mişcare elicoidală conform transformării:

$$M_{oc}=\begin{vmatrix} \cos v & \sin v & 0 & 0 \\ -\sin v & \cos v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & hv \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{3}$$

punctul curent $M \in S_0$ se exprimă prin relaţia:

$$\bar{\rho}_0=\begin{vmatrix} x_c \cos v + y_c \sin v \\ y_c \cos v - x_c \sin v \\ z_c + hv \\ 1 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{vmatrix}=\bar{\rho}_0(p,\ v). \tag{4}$$

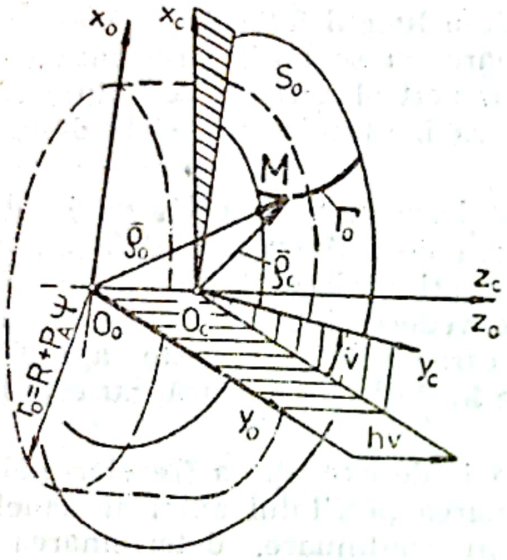


Fig. 7.2. Definirea melcului înfăşurător.

Conform definiţiei diferenţiale, normala ridicată pe suprafaţa S_0 în punctul M are expresia:

$$\bar{N}_0=\begin{vmatrix} \frac{\partial y_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial z_0}{\partial p}-\frac{\partial z_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial y_0}{\partial p} \\ \frac{\partial z_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial x_0}{\partial p}-\frac{\partial x_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial z_0}{\partial p} \\ \frac{\partial x_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial y_0}{\partial p}-\frac{\partial y_0}{\partial v}\cdot\frac{\partial x_0}{\partial p} \\ 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} n_{ox} \\ n_{oy} \\ n_{oz} \\ 0 \end{vmatrix}=\bar{N}_0(p,\ v). \tag{5}$$

Dezvoltînd expresia (5) pentru $\bar{\rho}_0$ definit prin relaţia (4), se obţine:

$$\bar{N}_0=\begin{vmatrix} -x_0\frac{\partial z_0}{\partial p}-h\frac{\partial y_0}{\partial p} \\ h\frac{\partial x_0}{\partial p}-y_0\frac{\partial z_0}{\partial p} \\ y_0\frac{\partial y_0}{\partial p}+x_0\frac{\partial x_0}{\partial p} \\ 0 \end{vmatrix}=N_0(p,\ v). \tag{6}$$

Scanned with OKEN Scanner

Expresiile (1), (4) și (6) definesc în mod univoc elicoidul S_0 — melcul înfășurător, pentru un anumit stadiu de reascuțire.

2. Muchia de așchiere teoretică exactă

Pentru un melc înfășurător S_0, muchia de așchiere exactă Γ_A se formează prin intersecția suprafeței S_0 cu fața de degajare S_γ (fig. 7.3).

Muchia Γ_A nu este o curbă constantă în timp; ea depinde de stadiul de reascuțire a frezei (prin reascuțire, diametrul frezei detalonate se

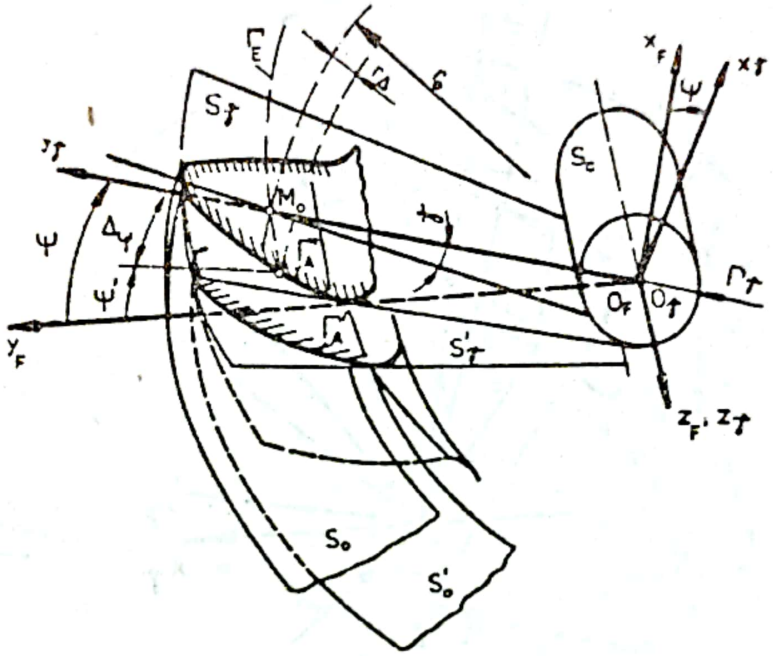


Fig. 7.3. Variația muchiei de așchiere în funcție de reascuțire.

micșorează și, ca urmare, se modifică melcul înfășurător). În aceste condiții, se pune problema de a determina interdependența concretă dintre reascuțirile repetate și modificarea melcului înfășurător, respectiv variația muchiei de așchiere Γ_A în procesul de exploatare a frezei. Notînd cu S'_0 (fig. 7.4) suprafața melcului înfășurător curent — după reascuțirea cu unghiul $\Delta\psi$, muchia de așchiere exactă aferentă Γ'_A se obține prin intersecția acestei suprafețe cu fața de degajare S_γ. Suprafața S_γ se definește în sistemul Σ_γ, iar melcul înfășurător în sistemul Σ_F, legat de freza-melc.

Pentru definirea stadiului de reascuțire a frezei-melc, se introduce parametrul reascuțirii ψ, care are valoarea ψ_{max} pentru freza nouă și o valoare negativă ψ_{min} — după ultima reascuțire. Acest parametru poziționează fața de degajare S_γ, față de corpul frezei-melc, respectiv definește poziția relativă a celor două sisteme Σ_F și Σ_γ. Dacă înainte de reascuțire fața de degajare se suprapune cu S_γ, în procesul de reascuțire executat cu avans circular intermitent, se îndepărtează o porțiune de material corespunzătoare unghiului la centru $\Delta\psi$. Astfel, noua față de degajare se va suprapune suprafeței S_γ, iar axa O_FY_F va forma cu axa

Scanned with OKEN Scanner

$O_\gamma Y_\gamma$ — unghiul ψ'. Considerînd o detalonare arhimedică de parametrul:

$$P_A = \frac{d_e}{2} \operatorname{tg} \alpha_v, \tag{7}$$

unde: d_e este diametrul exterior al frezei-melc iar α_v — unghiul de așezare radial corespunzător.

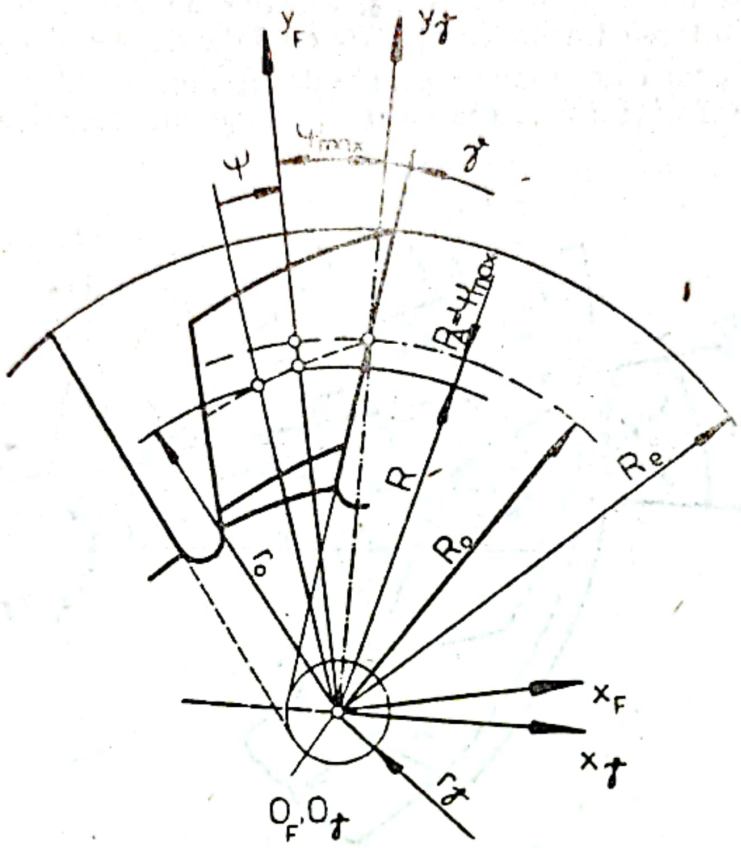


Fig. 7.4. Variația razei melcului înfășurător.

Apropierea față de axă a muchiei de așchiere Γ_A, în urma reascuțirii cu $\Delta\psi$, este dată de formula:

$$r = P_A \Delta\psi \tag{8}$$

Astfel, legea de variație a razei de referință a melcului înfășurător este:

$$r_0' = R + \Delta r, \tag{9}$$

unde se admite convențional:

$$R = R_0 - P_A \psi_{max}. \tag{10}$$

Interpretarea notațiilor din relațile (8) . . . (10) este dată în fig. 7.4.

Din cele de mai sus rezultă că pentru $\psi = 0$, sistemele Σ_F și Σ_γ se suprapun, situație considerată de referință. Raza cilindrului de referință a melcului înfășurător curent, pentru o anumită valoare a lui ν este:

$$r_0 = R + P_A \cdot \psi = R_0 + P_A \cdot (\psi - \psi_{max}). \tag{11}$$

Acesta este raza la care dintele frezei își păstrează grosimea constantă.

Scanned with OKEN Scanner

3. Faţa de degajare

Faţa de degajare S_γ (fig. 7.5) este un elicoid riglat (convolut) generat geometric de către dreapta Γ_d, care se deplasează de-a lungul axei $O_\gamma Z_\gamma$, sprijinindu-se pe elicea Γ_E (normală pe elicea de referinţă mediană a melcului înfăşurător) şi tangentă cilindrului de degajare S_c de rază:

$$r_\gamma = R_0 \sin \gamma, \tag{12}$$

unde: γ este unghiul de degajare orientat conform fig. 7.5. Parametrul elicoidal al acestei suprafeţe este:

$$H = \frac{R_0^2}{h} = \frac{2R_0^2}{m_x Z}, \tag{13}$$

unde: m_x este modulul axialal melcului înfăşurător, iar Z — numărul de începuturi.

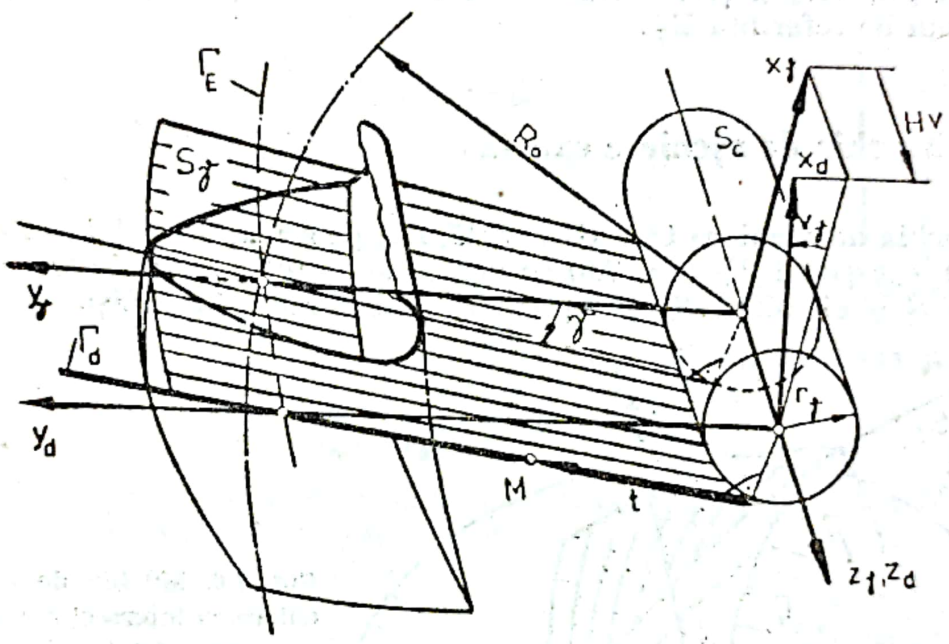


Fig. 7.5. Generarea feţei de degajare.

Dreapta generatoare Γ_d se defineşte în sistemul Σ_d, în funcţie de parametrul independent t, prin relaţia:

$$\bar{\rho}_d = \begin{vmatrix} t\sin\gamma - r_\gamma\cos\gamma \\ t\cos\gamma + r_\gamma\sin\gamma \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_d(t). \tag{14}$$

La generarea suprafeţei S_γ, sistemul Σ_d execută o mişcare elicoidală după matricea de transfer:

$$M_{\gamma d} = \begin{vmatrix} \cos v_\gamma & -\sin v_\gamma & 0 & 0 \\ \sin v_\gamma & \cos v_\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Hv_\gamma \\ 0 & 9 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{15}$$

Scanned with OKEN Scanner

Aplicînd transformarea (15) pentru relația (14) se obține:

$$\overline{\rho}_\gamma = \begin{vmatrix} t\sin(\gamma-v_\gamma)-r_\gamma\cos(\gamma-v_\gamma) \\ t\cos(\gamma-v_\gamma)+r_\gamma\sin(\gamma-v_\gamma) \\ Hv_\gamma \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{vmatrix} = \overline{\rho}_\gamma(t, v_\gamma). \tag{16}$$

Vectorul (16) reprezintă expresia feței de degajare S_γ în funcție de parametrii independenți t și v_γ.

Folosind definiția diferențială, normala ridicată pe fața de degajare va fi:

$$\overline{N}_\gamma = \begin{vmatrix} \cos(\gamma-v_\gamma) \\ -\sin(\gamma-v_\gamma) \\ t/H \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_{\gamma x} \\ n_{\gamma y} \\ n_{\gamma z} \\ 0 \end{vmatrix} = \overline{N}_\gamma(t, v_\gamma). \tag{17}$$

Relațiile (16) și (17) definesc în mod univoc suprafața S_γ raportată la sistemul de referință Σ_γ.

4. Muchia de așchiere exactă

Muchia de așchiere teoretic exactă, sau pe scurt, *muchia de așchiere exactă* Γ_A (fig. 7.6) se definește ca intersecția dintre fața de degajare S și elicoidul S_0 ce reprezintă flancul melcului înfășurător.

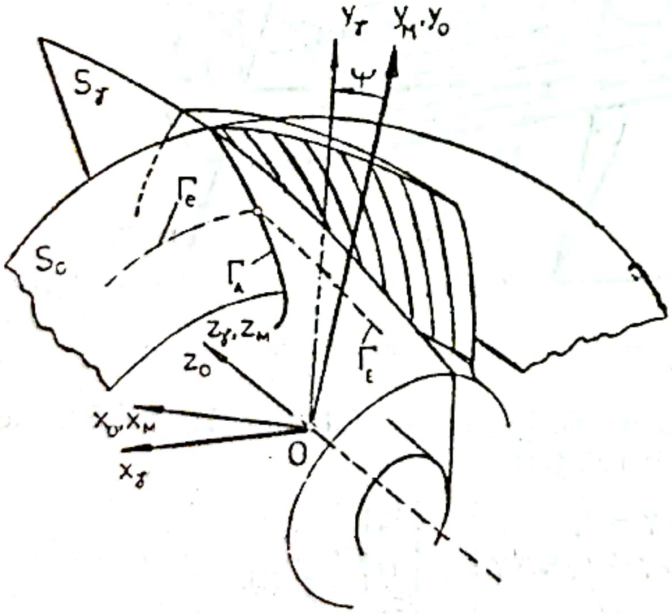


Fig. 7.6. Muchia de așchiere ca intersecția dintre suprafețele S_γ și S.

Muchia Γ_A se raportează la sistemul Σ_M suprapus sistemului de referință Σ_0. Suprafața S_γ se consideră într-o poziție oarecare determinată de starea de reascuțire caracterizată de unghiul ψ. Transformarea între sistemele Σ_γ și Σ_0 este dată de matricea:

$$M_{0\gamma} = \begin{vmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{18}$$

Scanned with OKEN Scanner

Ținînd seama de definiția dată, muchia așchietoare se exprimă în funcție de parametrul p, prin relația:

$$\bar{\rho}_M = \bar{\rho}_0(p, v) = \begin{vmatrix} x_0(p, v) \\ y_0(p, v) \\ z_0(p, v) \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_M(p) \\ y_M(p) \\ p_M(p) \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_M(p), \tag{19}$$

în care $\bar{\rho}_0$ este dat de relația (4).

Pentru determinarea parametrului v, din expresia lui $\bar{\rho}_0$, pe baza egalității $M_{0\gamma} \cdot \bar{\rho}_\gamma = \bar{\rho}_0$, se consideră sistemul de ecuații:

$$\left.\begin{aligned} f_1(p, v, t, v_\gamma) &= x_\gamma \cos\psi + y_\gamma \sin\psi - x_0 = 0, \\ f_2(p, v, t, v_\gamma) &= -x_\gamma \sin\psi + y_\gamma \cos\psi - y_0 = 0, \\ f_3(p, v, t, v_\gamma) &= z_\gamma - z_0 = 0. \end{aligned}\right\} \tag{20}$$

Ținînd seama de expresiile (4) și (16) între parametrii sistemului (20) se pot stabili următoarele relații:

$$\left.\begin{aligned} v_\gamma &= \frac{z_c + hv}{H}; \\ t &= \frac{y_0}{\cos(\gamma + \psi - v_\gamma)} - r_\gamma \operatorname{tg}(\gamma + \psi - v_\gamma); \\ Q(v) &= t \sin(\gamma + \psi - v_\gamma) - r_\gamma \cos(\gamma + \psi - v_\gamma) - x_0 = 0 \end{aligned}\right\} \tag{21}$$

Ecuațiile (21) reduc sistemul (20) la o singură ecuație, care se rezolvă în funcție de v, cu o metodă numerică adecvată.

Tangenta la muchia de așchiere se determină pe baza produsului vectorial:

$$\bar{\tau}_M = M_{0\gamma} \bar{N}_\gamma \times \bar{N}_0 = \bar{\tau}_M(p), \tag{22}$$

în care $\bar{N}_\gamma$ și $\bar{N}_0$ sînt vectorii normali dați de relațiile (17) și (6).

Dezvoltînd relația (22) se obține:

$$\bar{\tau}_M = \begin{vmatrix} tn_{0x} + Hn_{0z} \sin(\gamma + \psi - v_\gamma) \\ Hn_{0z} \cos(\gamma + \psi - v_\gamma) - tn_{0x} \\ -[n_{0x} \sin(\gamma + \psi - v_\gamma) + n_{0y} \cos(\gamma + \psi - v_\gamma)] H \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau_{Mx} \\ \tau_{My} \\ \tau_{Mz} \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{\tau}_M(p, v, t, v_\gamma), \tag{23}$$

în care v, t și v_γ sînt soluțiile sistemului (20), respectiv (21).

5. Generarea suprafeței detalonate teoretic exacte

Prin definiție, *suprafața detalonată teoretic exactă* S_α^T (fig. 7.7) este locul geometric al muchiilor de așchiere exacte, pentru variația continuă a parametrului reascuțirii Ψ [5]. Această definire presupune variația infinitesimală a parametrului ψ, respectiv o ascuțire infinitesimală, prin care suprafața S_α^T este acoperită prin muchiile de așchiere. Astfel pe suprafața S se vor deosebi două familii de linii de coordonate:

— familia (Γ_p) a muchiilor de așchiere, cu parametrul independent p, sau curbe de coordonate $\psi = ct.$;

— familia (Γ_Ψ) a curbelor de coordonate $p = ct.$

Scanned with OKEN Scanner

Un punct $M \in S_\alpha^T$ este complet definit prin valorile constante ale parametrilor p și ψ. Conform definiției și a precizărilor date, suprafața S_α^T se poate exprima cu ajutorul relației (19), respectiv (4), în care ψ este considerat o variabilă independentă.

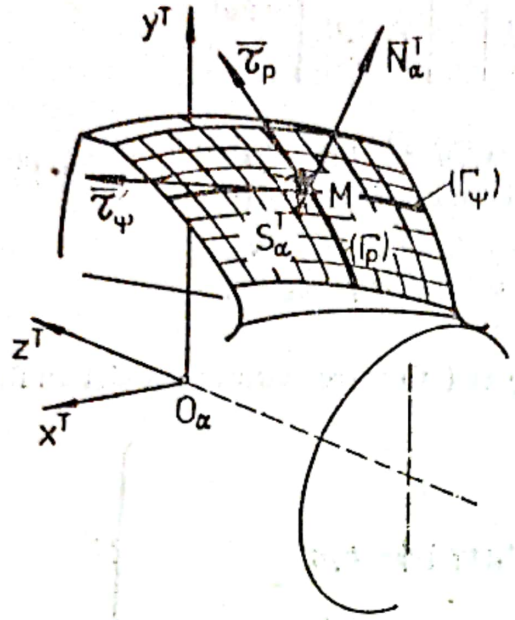


Fig. 7.7. Fața de așezare detalonată, constituită ca loc geometric al muchiilor de așchiere teoretic exacte.

Punctul curent $M \in S_\alpha^T$ are raza vectoare:

$$\bar{\rho}_\alpha^T = \begin{vmatrix} x_c(p)\cos[v(\psi)] + y_c(p)\sin v[v(\psi)] \\ y_c(p)\cos[v(\psi(] - x_c(p)\sin[v(\psi)] \\ z_c(p) + h[v(\psi)] \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_\alpha^T \\ y_\alpha^T \\ z_\alpha^T \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_\alpha^T(p, \psi), \tag{24}$$

în care funcția $v(\psi)$, determinată din sistemul (20), este:

$$v(\psi) = \left\{ \psi + \gamma - \frac{z_c(p)}{H} \pm 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{y_c(p) \pm \sqrt{[y_c(p)]^2 + [x_c(p)]^2 - r_\gamma^2}}{r_\gamma - x_c(p)} \right\} \frac{H}{H+h}. \tag{25}$$

Normala N_α^T ridicată pe suprafața S_α^T este determinată prin produsul vectorial dintre vectorii tangenți $\bar{\tau}_\psi$ și $\bar{\tau}_p$, duși la liniile de coordonate Γ_ψ și Γ_p.

Tangenta $\bar{\tau}_p$ se determină cu ajutorul relațiilor (23). Pentru simplificare se introduc notațiile:

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= \frac{h\dfrac{\partial x_c}{\partial p} - y_c\dfrac{\partial z_c}{\partial p}}{y_c\dfrac{\partial y_c}{\partial p} + x_c\dfrac{\partial x_c}{\partial p}} = P_1(p). \\ P_2 &= \frac{h\dfrac{\partial y_c}{\partial p} + x_c\dfrac{\partial z_c}{\partial p}}{y_c\dfrac{\partial y_c}{\partial p} + x_c\dfrac{\partial x_c}{\partial p}} = P_2(p), \\ v_\gamma &= \frac{z_c + h[p(\psi(]}{H} = v_\gamma(p, \psi), \\ T &= \frac{s_c\cos[v(\psi)] - x_c\sin[v(\psi)]}{\cos(\gamma + \psi - v_\gamma)} - r_\gamma \operatorname{tg}(\gamma + \psi - v_\gamma). \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul cărora vectorul τ se poate scrie sub forma:

$$\bar{\tau}_p = \begin{vmatrix} T\{P_1 \cos[v(\psi)] + P_1 \sin]v(\psi)]\} + H \sin(\gamma+\psi-v_\gamma) \\ H\cos(\gamma+\psi-v_\gamma) - T\{P_1 \sin[v(\psi)] + P_2 \cos[v(\psi)]\} \\ H\{P_2 \sin(\gamma+\psi-v_\gamma-v(\psi)] - P_1 \cos[\gamma+\psi-v_\gamma-v(\psi)]\} \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau_{px} \\ \sigma_{py} \\ \tau_{pz} \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{\tau}_p(p, \psi) \tag{27}$$

Expresia vectorului tangent $\bar{\tau}_\psi$ rezultă din (24):

$$\bar{\tau}_\psi = \begin{vmatrix} x_c \sin[v(\psi)] - y_c \cos[v(\psi)] \\ y_c \sin[v(\psi)] + x_c \cos[v(\psi)] \\ h \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau_{\psi x} \\ \tau_{\psi y} \\ \tau_{\psi z} \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{\tau}_\psi(p, \psi). \tag{28}$$

Astfel, normala N_α^T, scrisă în formă simplificată, este:

$$\bar{N}_\alpha^T = \begin{vmatrix} \tau_{py} & \tau_{\psi z} & - & \tau_{pz} & \tau_{\psi y} \\ \tau_{pz} & \tau_{\psi x} & - & \tau_{px} & \tau_{\psi z} \\ \tau_{px} & \tau_{\psi y} & - & \tau_{py} & \tau_{\psi x} \\ & & 0 & & \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_{\alpha x}^T \\ n_{\alpha y}^T \\ n_{\alpha z}^T \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{N}_\alpha^T(p, \psi). \tag{29}$$

Suprafața detalonată teoretic exactă S_α^T este definită în mod univoc prin relațiile (24) și (29). După cum rezultă din cele ce urmează, această suprafață nu se materializează fizic, ci servește pentru determinarea sculei abrazive la detalonarea radială și pentru construirea procesului numeric de optimizare.

6. Scula-disc pentru detalonarea radială a frezei-melc

Pentru determinarea sculei abrazive, în general, se utilizează metoda cinematică bazată pe ecuația angrenării:

$$\bar{N}_T^n \bar{v}_{FS} = 0, \tag{30}$$

în care: N_α^T reprezintă normala ridicată pe suprafața detalonată S_α^T, în sistemul legat de freză Σ_F (fig. 7.8);

$\bar{v}_{FS}$ — viteza relativă între suprafața S_s a sculei și suprafața S_α^T a frezei.

Condiția (30) impune ca, în punctul de contact considerat, suprafețele S_α^T și S_s să aibe un plan tangent comun, în care se află vectorul $\bar{v}_{FS}$ al vitezei relative.

Locul geometric al punctelor care satisfac ecuația (30) reprezintă curba Γ_K de contact, denumită *curbă caracteristică*. Întrucît punctele situate pe curba caracteristică sînt puncte comune suprafețelor S_α^T și S_s, pentru determinarea sculei abrazive este suficient să se calculeze curba Γ_K trasată pe suprafața S_s.

În acest scop, în prima etapă se determină viteza relativă $\bar{v}_{FS}$, folosind metoda matriceală [6]. Calculele se referă la fig. 7.8, în care s-a reprezentat:

— sistemul de referință Σ_R, considerat rigidizat de batiul mașinii de rectificat;

— sistemul de referință Σ_F, considerat legat de suprafața detalonată exactă a frezei-melc, exprimat la rîndul său prin ecuațiile (24) și (29);

— sistemul de referință Σ_S, considerat legat de scula abrazivă. În procesul de rectificare, freza-melc, respectiv suprafața S^T, execută față de sistemul Σ_R o mișcare elicoidală de-a lungul axei O_RZ_R, după parame-

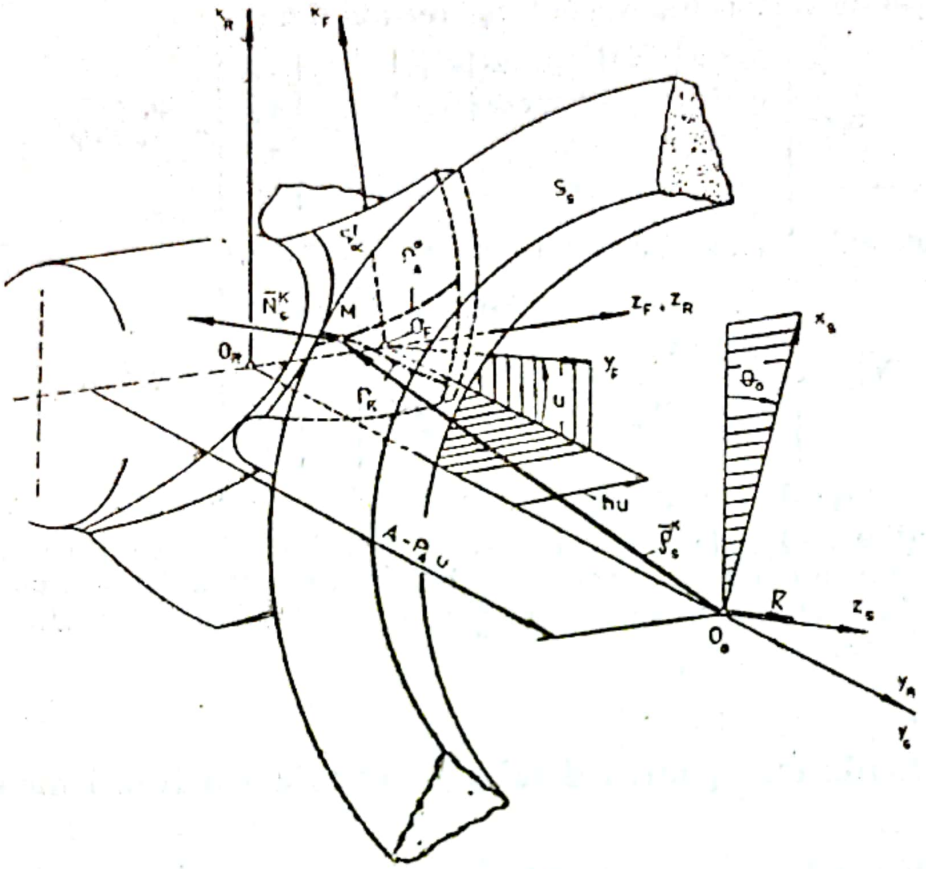


Fig. 7.8. Determinarea sculei-disc pentru detalonarea radială a feței de așezare radială a feței de așezare laterale a frezei-melc.

trul u. Potrivit acestei deplasări, scula abrazivă execută o mișcare de translație de-a lungul axei O_Ry_R apropiindu-se de axa frezei de la o distanță inițială A la distanța $A—P_Au$, în care P_A este parametrul arhimedic al mișcării de detalonare.

Poziția relativă între sistemele Σ_R și Σ_F este determinată de matricele de transfer:

$$M_{FR}=\begin{vmatrix} \cos u & -\sin u & 0 & 0 \\ \sin u & \cos u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -hu \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{și} \quad M_{RF}=\begin{vmatrix} \cos u & \sin u & 0 & 0 \\ -\sin u & \cos u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & hu \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{31}$$

Între sistemele Σ_R și Σ_S, în mod identic se obține:

$$M_{RS}=\begin{vmatrix} \cos\theta_0 & 0 & -\sin\theta_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & A-P_Au \\ \sin\theta_0 & 0 & \cos\theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{32}$$

și:

$$M_{SR}=\begin{vmatrix} \cos\theta_0 & 0 & \sin\theta_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & A+P_A n \\ -\sin\theta_0 & 0 & \cos\theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{33}$$

Pe baza produsului $M_{FR}M_{RS}$ se obține matricea de transfer dintre sistemele Σ_S și Σ_F:

$$M_{FS}=\begin{vmatrix} \cos\theta_0\cos u & -\sin u & -\sin\theta_0\cos u & -(A-P_A u)\sin u \\ \cos\theta_0\sin u & \cos u & -\sin\theta_0\sin u & (A-P_A u)\cos u \\ \sin\theta_0 & 0 & \cos\theta_0 & -hu \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{34}$$

iar din produsul $M_{SR}M_{RF}$, se obține inversa relației (34), sub forma:

$$M_{SF}=\begin{vmatrix} \cos\theta_0\cos u & \cos\theta_0\sin u & \sin\theta_0 & hu\sin\theta_0 \\ -\sin u & \cos u & 0 & -(A-P_A u) \\ -\sin\theta_0\cos u & -\sin\theta_0\sin u & \cos\theta_0 & h\breve{u}\cos\theta_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{35}$$

Parametrul mișcării relative fiind unghiul de poziție u, pe baza relațiilor (34) și (35) se dezvoltă operatorul matriceal al vitezei relative:

$$\Omega=M_{FS}\frac{\partial M_{SF}}{\partial u}=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & -P_A\sin u \\ -1 & 0 & 0 & P_A\cos u \\ 0 & 0 & 0 & h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \tag{36}$$

Folosind operatorul Ω și relația (24) viteza relativă se exprimă în sistemul Σ_F, prin produsul matriceal:

$$\overline{v}_{SF}=\Omega\rho_\alpha^T=\begin{vmatrix} y_\alpha^T-P_A\sin u \\ x_\alpha^T+P_A\cos u \\ h \\ 0 \end{vmatrix}=\overline{v}_{FS}(p,\psi,u). \tag{37}$$

Astfel, produsul scalar (30), dezvoltat cu ajutorul relațiilor (29) și (37) va fi:

$$\mathcal{F}(p,\psi,u)=(y_\alpha^T-P_A\sin u)n_{\alpha x}^T-(x_\alpha^T-P_A\cos o)n_{\alpha y}^\alpha+hn_{\alpha z}^T=0. \tag{38}$$

Dacă pentru un punct $M\in S_\alpha^T$ este satisfăcută relația (38), atunci $M\in\Gamma_K$ este un punct comun al ambelor suprafețe S_α^T și S_s. Astfel, pentru punctele $M\in\Gamma_K\in S_s$, este valabilă relația:

$$\overline{\rho}_S=M_{SF}\overline{\rho}_\alpha^T=\overline{\rho}_S(v,\psi,u), \tag{39}$$

în care unul dintre parametri este soluția ecuației (38).

Se remarcă că ecuația (39) împreună cu expresia (38), definește în mod univoc, prin doi parametrii independenți, o suprafață oarecare, care este înfășurătoarea fetei de așezare S_α^T. Dar porțiunea activă a sculei abrazive nu poate fi decît o suprafață de revoluție. Această restricție fizică introduce o supradeterminare matematică în procesul de calcul. În metoda

Scanned with OKEN Scanner

clasică de calcul [4; 7] supradeterminarea se ridică prin generarea sculei abrazive cu ajutorul muchiei de așchiere a frezei noi, aflată pe melcul înfășurător maxim. Aceasta presupune că freza-melc va avea o singură muchie matematic precisă, iar succesiunea de muchii așchietoare care se obțin prin reascuțire vor prezenta abateri direct proporționale cu mărimea reascuțirii. În metoda mai nouă aparținînd autorului [1] supradeterminarea matematică este ridicată, fie prin atașarea la suprafața S_α^T a unui corp de revoluție (considerînd $u=0$, la calculul sculei), fie prin determinarea suprafeței de revoluție de cea mai bună aproximație pentru suprafața (39).

Astfel, la aceste metode moderne, teoretic nu se asigură nici o muchie matematic precisă, însă există posibilitatea de a răstrînge erorile tuturor muchiilor de așchiere, ce se obțin prin reascuțiri, la valori minime.

În metodele prezentate în [1] [3] și [8], determinarea profilului sculei abrazive este deci un proces de optimizare, care vizează direct suprafața S_s și indirect fața de așezare S_α^T.

Lucrarea de față, prin obiectul său își propune îmbunătățirea preciziei frezei-melc, astfel importanța sculei abrazive ajunge pe rangul II. Ca urmare, într-o lucrare următoare se va construi un *proces de optimizare* vizînd direct muchiile de așchiere.

Cercetările autorului [9] au scos în evidență că, în cazul frezelor-melc duplex, procesul de optimizare poate fi limitat la suprafața S_α^T, iar supradeterminarea matematică a sculei să fie ridicată generînd aceasta din urmă pe cale cinematică, cu ajutorul *muchiei de așchiere de referință*, situată la mijlocul domeniului de utilizare a frezei (v. fig. 7.3).

Aici se conturează două aspecte caracteristice ale contribuției aduse prin lucrarea de față, la procesul de calcul al frezei-melc:

a) Generalizînd ideea din [10], referitoare la muchia de așchiere de referință aflată la jumătatea porțiunii de reascuțire a dintelui frezei-disc detalonată geometric, la cazul frezelor-melc, detalonate cinematic, se reduc erorile clasice de profil la jumătate, prin generarea sculei abrazive de ordinul II cu ajutorul acestei muchii de referință.

b) Construirea unui proces de optimizare cu convergență asigurată [11], care poate fi soluționat cu valoarea minimă a parametrului procesului (unghiul de degajare γ), față de valoarea de referință a acestuia (la frezele-melc pentru roți melcate din bronz și fontă, valoarea recomandată a unghiului de degajare este $\gamma=0$).

Ținînd seama de cele precizate, pentru *calculul sculei abrazive de tip disc*, se consideră muchia de așchiere de referință Γ_A° (v. fig. 7.8), definită în sistemul Σ_F, prin raza vectoare, similară cu relația (19), de ecuație:

$$\bar{\rho}_M = \begin{vmatrix} x_c(p)\cos v + y_c(p)\sin v \\ y_c(p)\cos v - x_c(p)\sin v \\ z_c(p) + hv \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_\alpha^\circ \\ y_\alpha^\circ \\ z_\alpha^\circ \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_\alpha^\circ(p, v), \qquad (40)$$

în care: $x_c(p)$, $y_c(p)$ și $z_c(p)$ sînt proiecțiile razei vectoare ale curbei generatoare Γ_o, a elicoidului înfășurător (v. fig. 7.2), considerat de referință

Scanned with OKEN Scanner

— prin atribuirea valorii $\psi=0$, iar v se exprimă cu ajutorul relației (25), sub forma:

$$v=\left\{\gamma-\frac{z_c(p)}{H}-2\operatorname{arctg}\frac{y_c(p)\pm\sqrt{[y_c(p)]^2-[x_c(p)]^2-r_\gamma^2}}{r_\gamma-x_c(p)}\right\}\frac{H}{H+h}. \tag{41}$$

Tangenta la muchia de așchiere (40) rezultă din (27), pentru $\psi=0$, sub forma:

$$\bar{\tau}_p=\begin{vmatrix} T(P_1\cos v+P_2\sin v)+H\sin(\gamma-v) \\ H\cos(\gamma-v_\gamma)-T(P_1\sin v+P_2\cos v) \\ H[P_2\sin(\gamma-v_\gamma-v)-P_1\cos(\gamma-v_\gamma-v)] \\ 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} \bar{\tau}^\circ_{Fx} \\ \bar{\tau}^\circ_{Fy} \\ \bar{\tau}^\circ_{Fz} \\ 0 \end{vmatrix}=\bar{\tau}^\circ_F(p), \tag{42}$$

în care coeficienții T, P_1, P_2 și v_γ au semnificațiile din (26), pentru $\psi=0$.

În cazul de față, normala ridicată în punctul curent $M\in\Gamma_A{}^\circ$, pe suprafața S^T_α, se definește prin produsul vectorial:

$$\bar{N}^\circ_\alpha=\bar{\tau}^\circ_F x\bar{v}^\circ_{FS}, \tag{43}$$

în care: $\bar{v}^\circ_{SF}$ este viteza relativă de expresie (37), considerată pentru $\psi=0$, respectiv pentru $y^T_\alpha=y^\circ_\alpha$ și $x^T_\alpha=x^\alpha_\circ$;

$\bar{\tau}^\circ_F$ — tangenta la muchia de așchiere de referință, de ecuație (42).

Pe baza ecuațiilor (37) și (42) se dezvoltă produsul vectorial (43) sub forma:

$$\bar{N}^\circ_\alpha=\begin{vmatrix} \{h[H\cos(\gamma-v_\gamma)-T(P_1\sin v+P_2\cos v)]+ \\ \{H(y^\circ_\alpha-P_A\sin u)[P_2\sin(\gamma-v_\gamma-v)-P_1\cos(\gamma-v_\gamma-v)]- \\ -\}(x^\circ_\alpha-P_A\cos u)[H\sin(\gamma-v_\gamma)+T(P_1\cos v+P_2\sin v)]+ \\ 0 \end{vmatrix} \tag{44}$$

$$\begin{vmatrix} +H(x^\circ_\alpha-P_A\cos u)[P_2\sin(\gamma-v_\gamma-v)-P_1\cos(\gamma-v_\gamma-v)]\} \\ -h[T(P_1\cos v+P_2\sin v)+H\sin(\gamma-v_\gamma)]\} \\ +(y^\circ_\alpha-P_A\sin u)[H\cos(\gamma-v_\gamma)-T_1(P_1\sin v+P_2\cos v)]\} \\ 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} n^\circ_{\alpha x} \\ n^\circ_{\alpha y} \\ n^\circ_{\alpha z} \\ 0 \end{vmatrix}=\bar{N}^\circ_\alpha(p,v)$$

În scopul determinării sculei abrazive-disc, se impune ca punctul $M\equiv\Gamma_A{}^\circ$ să fie un punct conjugat, respectiv să fie îndeplinită condiția $M\Gamma_k$. Deoarece S_s este o suprafață de revoluție cu axa O_sZ_s, normala ridicată pe S_σ trebuie să intersecteze această axă — condiție cinematică pentru generarea sculei abrazive cu ajutorul muchiei de așchiere de referință $\Gamma_A{}^\circ$.

Pentru modelarea matematică a contactului, în condițiile precizate, se adoptă un vector unitar $\bar{K}$ suprapus axei O_sZ_s. Dacă M este punct conjugat și suprafața S_s — o suprafață de revoluție, atunci între vectorii $\bar{N}^s_k$, $\bar{\rho}^k_s$ și $\bar{K}$, există relația de coplanaritate:

$$(\bar{N}^k_s\times\bar{\rho}^k_s)\bar{K}=0; \tag{45}$$

în care: $\bar{N}^k_s$ este normala la suprafața S_s, în punctul M;

$\bar{\rho}^k_s$ — raza vectoare a punctului M exprimată în sistemul Σ_S (v. fig. 7.8).

Scanned with OKEN Scanner

Întrucît, în condițiile impuse, normala $\bar{N}_s^k$ este identică cu $\bar{N}_\alpha^\circ$, determinată în sistemul Σ_F, prin relația (44), condiția de coplanaritate se va transpune în sistemul Σ_F. În acest sens, în locul lui $\bar{\rho}_s^k$, se va înlocui vectorul $\bar{\rho}_\alpha^\circ$ determinat prin relația (40), iar vectorul unitar $\bar{K}$, se transpune în sistemul Σ_F, cu ajutorul matricei de transformare (34) sub forma:

$$\bar{K}=\left|\begin{array}{c}\sin\theta_0\cos u+(A-P_A u)\sin u\\ \sin\theta_0\sin u-(A-P_A u)\cos u\\ hu-\cos\theta_0\\ 0\end{array}\right|. \tag{46}$$

Astfel ținînd seama de relațiile (40), (44) și (46), condiția contactului se exprimă matematic prin ecuația:

$$\begin{aligned}\mathcal{F}^\circ(p,u)=&[\sin\theta_0\cos u+(A-P_A u)\sin u](y_\alpha^\circ n_{\alpha z}^\circ-z_\alpha^\circ n_{\alpha y}^\circ)+\\ &+[\sin\theta_0\sin u-(A-P_A u)\cos u](z_\alpha^\circ n_{\alpha x}^\circ-x_\alpha^\circ n_{\alpha z}^\circ)+\\ &+(hu-\cos\theta_0)(x_\alpha^\circ n_{\alpha y}^\circ-y_\alpha^\circ n_{\alpha x}^\circ)=0\end{aligned} \tag{47}$$

Curba caracteristică Γ_K, trasată pe suprafața S_s, se exprimă prin produsul matriceal $M_{SF}\cdot\bar{\rho}_\alpha^\circ$. Pe baza relațiilor (35) și (40), se obține:

$$\bar{\rho}_s^k=\left|\begin{array}{c}[x_c(p)\cos(v+u)+y_c(p)\sin(v+u)]\cos\theta_0+[z_c(p)+h(v+u)]\sin\theta_0\\ -x_c(p)\sin(v+u)+y_c(p)\cos(v+u)-A+P_A u\\ -[x_c(p)\cos(v+u)+y_c(p)\sin(v+u)]\sin\theta_0+[z_c(p)+h(v+u)]\cos\theta_0\\ 1\end{array}\right|=$$

$$=\left|\begin{array}{c}x_s^k\\ y_s^k\\ z_s^k\\ 1\end{array}\right|=\bar{\rho}_s^k(p,v,u), \tag{48}$$

în care v și u sînt soluțiile ecuațiilor (41), respectiv (47). Ca urmare, caracteristica Γ_K se exprimă în funcție de un singur parametru independent —p.

Aplicînd transformarea (35) și asupra normalei (44), vectorul normal ridicat pe S_s de-a lungul curbei caracteristice va fi dat de relația:

$$\bar{N}_s^k=\left|\begin{array}{c}(n_{\alpha x}^\circ\cos u+n_{\alpha y}^\circ\sin u)\cos\theta_0+n_{\alpha z}\sin\theta_0\\ -n_{\alpha x}^\circ\sin u+n_{\alpha y}^\circ\cos u\\ -(n_{\alpha x}^\circ\cos u+n_{\alpha y}^\circ\sin u)\sin\theta_0+n_{\alpha z}^\circ\cos\theta_0\\ 0\end{array}\right|=\left|\begin{array}{c}n_{sx}^k\\ n_{sy}^k\\ n_{sz}^k\\ 0\end{array}\right|=\bar{N}_s^k(p). \tag{49}$$

Pentru a putea profila practic scula abrazivă, este necesar să se determine *profilul axial*. În acest scop se rabate vectorul (48), în planul axial al sculei, obținîndu-se:

$$\bar{\rho}_s^a=\left|\begin{array}{c}0\\ -\sqrt{\{[x_c(p)\cos(v+u)+y_c(p)\sin(v+u)]\cos\theta_0+[z_c(p)+h(v+u)\sin\theta_0]\}+}\\ \overline{+[x_c(p)\sin(v+u)-y_c(p)\cos(p+o]+A-P_A u]^2}\\ [z_c(p)+h(v+u)\cos\theta_0]-[z_c(p(\cos(v+u)+y_c(p)\sin(v+u)]\sin\theta_0\\ 1\end{array}\right|=\left|\begin{array}{c}9\\ y_s^a\\ z_s^a\\ 1\end{array}\right|=\bar{\rho}_s^a(p). \tag{50}$$

Scanned with OKEN Scanner

Din proiecția vectorului normal pe planul axial, se obține unghiul μ al profilului axial (50) în punctul considerat:

$$\mu = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{[(n^{\circ}_{\alpha x}\cos u + n^{\circ}_{\alpha y}\sin u)\cos\theta_0 + n^{\circ}_{\alpha z}\sin\theta_0]^2 + (n^{\circ}_{\alpha y}\cos u - n^{\circ}_{\alpha x}\sin u)^2}}{(n^{\circ}_{\alpha x}\cos u + n^{\circ}_{\alpha y}\sin u)\sin\theta_0 - n^{\circ}_{\alpha z}\cos\theta_0}. \quad (51)$$

Unghiul definit prin relația (51) este format de direcția tangentei la profilul axial și axa $O_s y_s$ și este o variabilă în lungul profilului.

Relația (50), împreună cu (51), definesc în mod univoc scula abrazivă-disc pentru detalonarea radială a frezei-melc.

7. Scula-deget pentru detalonarea radială a frezei-melc

Algoritmul de calcul stabilit în paragraful precedent, cuprins în relațiile (31) ... (44) este valabil și pentru generarea sculei-deget, cu particularizarea $A = A_0 = R_0$ și $\theta_0 = 0$ (fig. 7.9).

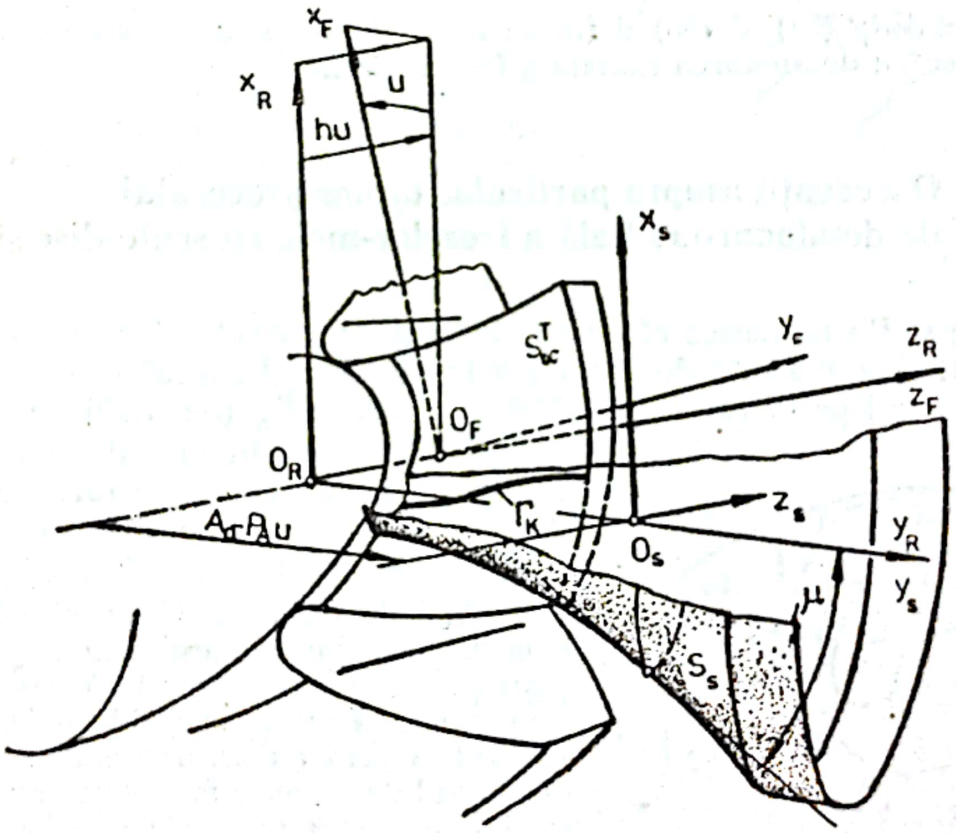


Fig. 7.9. Determinarea sculei-deget pentru detalonarea radială a feței de așezare laterale a frezei-melc.

Vectorul unitar, suprapus axei $O_s y_s$, în acest caz va fi:

$$\bar{J} = \begin{vmatrix} (1 + A_0 - P_A u)\sin u \\ -(1 + A_0 - P_A u)\cos u \\ hu \\ 1 \end{vmatrix}. \quad (52)$$

Scanned with OKEN Scanner

Condiția (47) a contactului se va particulariza sub forma:

$$\mathcal{F}^{\circ}(p,u)=(1+A_0-P_A u)[(y_\alpha^\circ n_{\alpha z}^\circ - z_\alpha^\circ n_{\alpha y}^\circ)\sin u+(z_\alpha^\circ n_{\alpha x}^\circ - x_\alpha^\circ n_{\alpha z}^\circ)\cos u]+ \\ +hu(x_\alpha^\circ n_{\alpha y}^\circ - y_\alpha^\circ n_{\alpha x}^\circ)=0. \tag{53}$$

De asemenea rămîn valabile relațiile (48) și (49), ale curbei caracteristice Γ_K, cu particularizarea $\theta_0=0$.

Profilul axial va fi exprimat prin raza vectoare:

$$\bar{\rho}_s^a=\begin{vmatrix} \sqrt{[x_c(p)\cos(v+u)+y_c(p)\sin(v+u)]^2+[z_c(p)+h(v+u)]^2} \\ -x_c(p)\sin(v+u)+y_c(p)\cos(v+u)-A-P_A u \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_s^a \\ y_s^a \\ z_s^a \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_s^a(p) \tag{54}$$

Analog cu (51), rezultă variația unghiului de profil axial al sculei-deget:

$$\mu=\operatorname{arctg}\frac{n_{\alpha y}^\circ\cos u-n_{\alpha x}^\circ\sin u}{\sqrt{(n_{\alpha x}^\circ\cos u+n_{\alpha y}^\circ\sin u)^2+(n_{\alpha z}^\circ)^2}}. \tag{55}$$

Relațiile (54) și (55) definesc în mod univoc scula abrazivă de tip deget pentru detalonarea radială a frezei-melc.

8. Observații asupra particularităților procesului de detalonare radială a frezelor-melc cu scule-disc și deget

Testările numerice efectuate, în ceea ce privește alura curbelor caracteristice dintre fața de așezare a frezei-melc și suprafața sculei abrazive, în cazul prelucrării cu sculă-disc — curba $\Gamma_{\tilde{K}}$ (fig. 7.10), se constată o ușoară alungire în lungul dintelui frezei, pe cînd, în cazul prelucrării cu sculă-deget — curba Γ_K'', se observă o orientare în direcția radială.

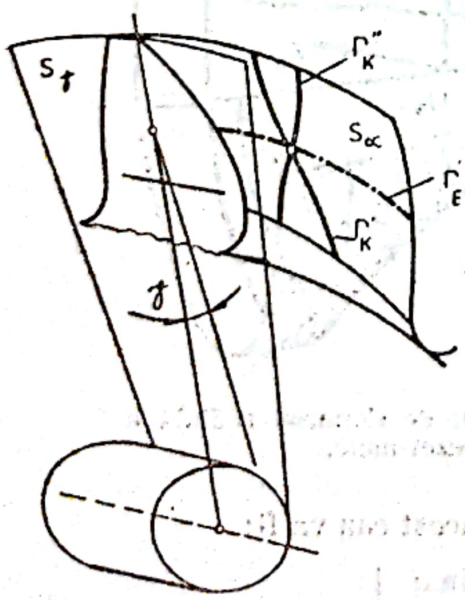


Fig. 7.10. Compararea curbelor caracteristice dintre fața de așezare detalonată radial cu sculă de tip disc și deget.

Ambele curbe sînt aproximabile cu o curbă corespunzătoare situată într-un plan paralel cu axa frezei. Această diferență de alură dintre curbele caracteristice se explică prin gabaritul sculelor. Sculadisc, fiind de dimensiuni relativ mari, asigură o tangență mai fidelă cu suprafața S_α, decît freza-deget. Aceasta din urmă, avînd curba caracteristică orientată în direcție radială, în procesul de generare se comportă asemănător cu un cuțit de detalonare, deoarece caracteristica Γ_K'' își schimbă foarte puțin alura de-a lungul curbei de detalonare Γ_E.

În schimb, scula de tip disc, avînd o tangență mai fidelă alura curbei caracte-

Scanned with OKEN Scanner

ristice se modifică sensibil de-a lungul curbei de detalonare. Deoarece geometria melcului înfășurător, respectiv a muchiei de așchiere (v. § 4), se schimbă de-a lungul curbei de detalonare, pentru procesul de optimizare este avantajos ca și caracteristica să aibe o comportare „plastică".

Pe baza observațiilor de mai sus, se conclude că procesul numeric de optimizare a frezei-melc prin variația unghiului de degajare γ este mai convergent și mai eficace, pentru detalonarea radială cu sculă-disc.

9. Muchia de așchiere reală

Prin definiție, fața de așezare reală este o suprafață teoretică, determinată ca înfășurătoarea cinematică a unei scule abrazive date pentru detalonarea radială. În conformitate cu precizările făcute în § 6, la generarea inversă a suprafeței detalonate, cu ajutorul sculei determinată anterior, se va reconstitui o singură muchie de așchiere — cea de referință, cu care a fost generată cinematic scula abrazivă. Prin procesul de generare inversă, se stabilește o nouă față de așezare — suprafața detalonată reală S_α^R (fig. 7.11), care va avea puncte comune cu fața de așezare teoretică exactă S_α numai de-a lungul muchiei de așchiere de referință Γ_A^o. Suprafețele S_α^R și S_α^T se vor intersecta sau vor fi tangente de-a lungul acestei muchii, considerate de referință. Întrucît fața de așezare se materializează (teoretic) prin suprafață reală S_α^R poziția relativă dintre suprafețe S_α^R și S_α^T caracterizează în mod obiectiv precizia teoretică a frezei-melc.

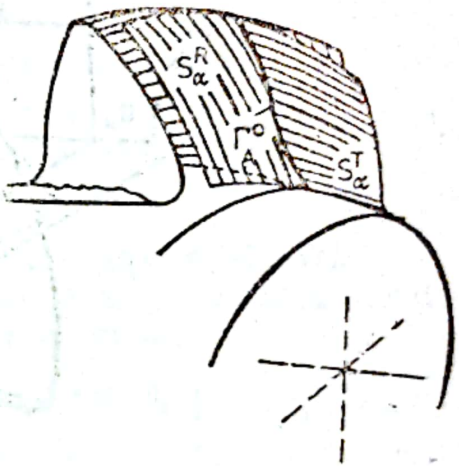


Fig. 7.11. Poziția relativă a fețelor de așezare teoretică și reală.

Astfel, determinarea feței de așezare reale S_α^R servește pentru evaluarea cantitativă a variației muchiei de așchiere reale față de cea teoretic axactă, în diferite stadii de reascuțire a frezei-melc.

Din fig. 7.11, rezultă în mod evident că alegerea muchiei de așchiere de referință, respectiv a curbei comune suprafețelor S_μ^R și S_α^T, influențează în măsură semnificativă precizia teoretică a frezei-melc. În acest sens, metoda clasică din [10] recomandă alegerea curbei comune pe prima muchie de așchiere teoretic exactă, iar autorul propune alegerea acesteia la jumătatea domeniului de reascuțire, reducînd astfel erorile teoretice inițiale la jumătate.

10. Generarea cinematică a feței de așezare laterală cu sculă-disc

Ca suprafață generatoare cunoscută se consideră suprafața de rotație S_s (fig. 7.12), definită prin profilul axial Γ_a determinat în sistemul Σ_ω prin relațiile (50) și (51).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea ecuațiilor suprafeței S_a^R, se imprimă profilului Γ_A o mișcare de rotație în jurul axei O_sZ_s, după transformarea:

$$M_{sa} = \begin{vmatrix} \cos w & -\sin w & 0 & 0 \\ \sin w & \cos w & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{56}$$

în care w este parametrul rotației.

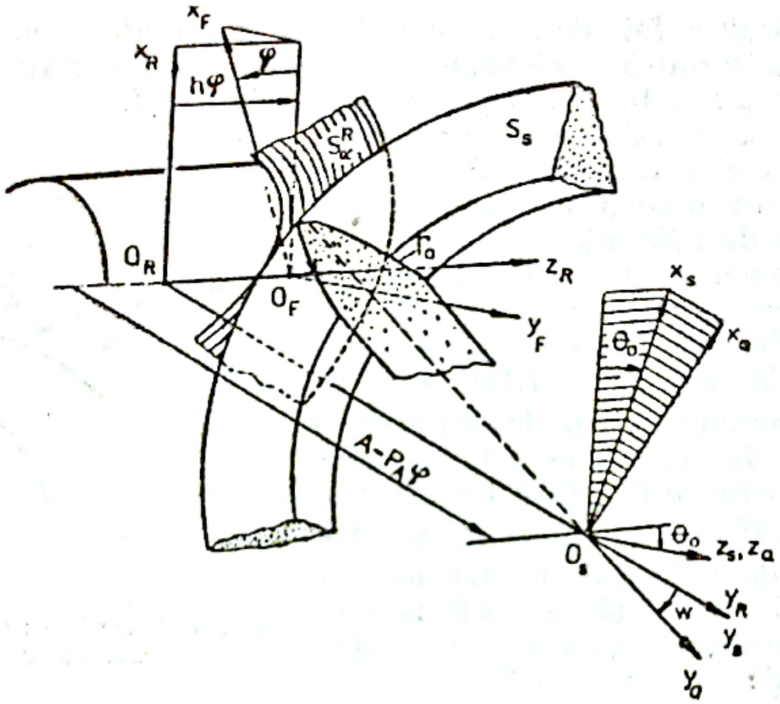


Fig. 7.12. Schema de generare a feței de așezare reale, la detalonarea radială cu freză-disc.

Ținînd seama de relația (50), suprafața S_s se exprimă prin raza vectoare:

$$\bar{\rho}_s = \begin{vmatrix} -y_s^a \sin w \\ y_s^a \cos w \\ z_s^a \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_s(p, w). \tag{57}$$

Tangenta la profilul axial Γ_a, dezvoltată pe baza relației (51) și transpusă în sistemul Σ_s, este:

$$\bar{\tau}_s^a = \begin{vmatrix} -\sin w \\ \cos w \\ \operatorname{tg} \mu \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau_{sx}^a \\ \tau_{sy}^a \\ \tau_{sz}^a \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{\tau}_s^a(p, w). \tag{58}$$

Scanned with OKEN Scanner

Normala atașată suprafeței S_s rezultă din produsul vectorial $\bar{r}_s^a \times \frac{\partial \bar{\rho}_s}{\partial w}$, sub forma:

$$\bar{N}_s = \begin{vmatrix} \sin w \\ -\cos w \\ \operatorname{ctg} \mu \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_{sx} \\ n_{sy} \\ n_{sz} \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{N}_s(p, w). \tag{59}$$

În punctele de contact dintre suprafețele S_s și S_α^R, se satisface ecuația angrenării de tipul (30), în care se introduce normala (59) și viteza relativă $\bar{v}_{SF}$ determinată cu ajutorul operatorului:

$$\Omega_s = M_{SF} \frac{\partial M_{FS}}{\partial \varphi}, \tag{60}$$

unde M_{SF} și M_{FS} sînt matricele (35) și (34), în care parametrul u se înlocuiește cu φ. Dezvoltarea relației (60) este:

$$\Omega_s = \begin{vmatrix} 0 & -\cos\theta_0 & 0 & -(A - P_A\varphi)\operatorname{cns}\theta_0 - h\sin\theta_0 \\ \cos\theta_0 & 0 & -\sin\theta_0 & -P_A \\ 0 & \sin\theta_0 & 0 & (A - P_A\varphi)\sin\theta_0 + h\cos\theta_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \tag{61}$$

unde P_A este parametrul detalonării radiale, definit prin relația (7).

Astfel, viteza relativă dintre scula abrazivă S_s și suprafața detalonată reală S_α^R, în sistemul Σ_S, se definește prin expresia:

$$\bar{v}_{sF} = \begin{vmatrix} (y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\cos\theta_0 + h\sin\theta_0 \\ (y_s^a \sin w \cos\theta_0 - z_s^a \sin\theta_0 - P_A \\ -(y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\sin\theta_0 - h\cos\theta_0 \\ 0 \end{vmatrix}. \tag{62}$$

Pe baza relațiilor (59) și (60), se dezvoltă ecuația angrenării sub forma:

$$[(y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\cos\theta_0 + h\sin\theta_0]\sin w - [y_s^a \sin w \cos\theta_0 - z_s^a \sin\theta_0 - P_A]\cos w - \\ -[(y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\sin\theta_0 + h\cos\theta_0]\operatorname{ctg}\mu = 0. \tag{63}$$

Soluția acestei ecuații, în raport cu φ este:

$$\varphi = \frac{1}{P_A(\sin\theta_0 \operatorname{ctg}\mu - \cos\theta_0 \sin w)}[(P_A + z_s^a \sin\theta_0 + y_s^a \operatorname{ctg}\mu)\cos w - \\ -(h\sin\theta_0 + A\cos\theta_0)\sin w + (A\sin\theta_0 + h\cos\theta_0)\operatorname{ctg}\mu]. \tag{64}$$

Ecuația suprafeței S_α^R se obține din produsul $M_{FS}\bar{\rho}_S$, determinat de relațiile (57) și (34), pentru $u = \varphi$. Astfel rezultă:

$$\bar{\rho}_\alpha^R = \begin{vmatrix} -(y_s^a \sin w \cos\theta_0 + z_s^a \sin\theta_0)\cos\varphi - (y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\sin\varphi \\ -(y_s^a \sin w \cos\theta_0 + z_s^a \sin\theta_0)\sin\varphi + (y_s^a \cos w + A - P_A\varphi)\cos\varphi \\ -y_s^a \sin w \sin\theta_0 + z_s^a \cos\theta_0 - h\varphi \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_\alpha^R \\ y_\alpha^R \\ z_\alpha^R \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_\alpha^R(p, w, \varphi \tag{65}$$

în care φ este soluția (64) a ecuației (63).

Scanned with OKEN Scanner

11. Generarea cinematică a feței de așezare laterală cu freză-deget

În acest caz, ca suprafață generatoare cunoscută, se consideră suprafața de rotație S_s (fig. 7.13) a sculei abrazive de tip deget definită prin profilul axial Γ_a, determinat de relațiile (54) și (55), în sistemul Σ_a. În

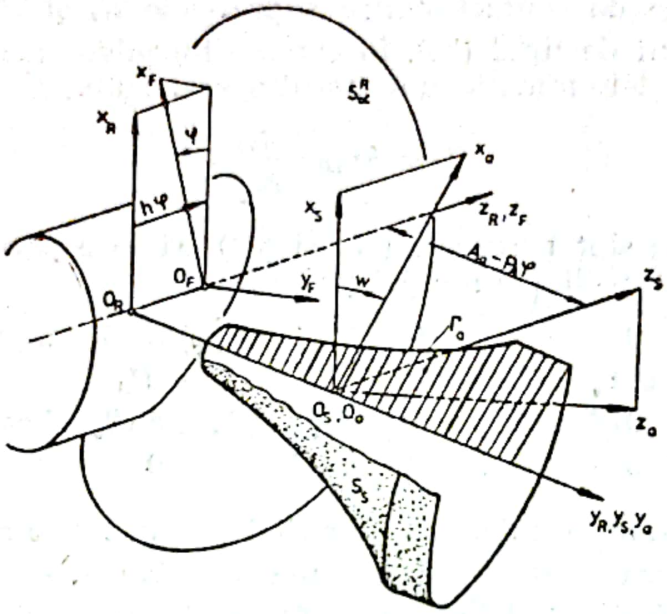


Fig. 7.13. Schema de generare a feței de așezare reale la detalonarea radială cu freza-deget.

scopul determinării relațiilor de calcul a suprafeței reale S_a^R, se imprimă profilului Γ_a, o mișcare de rotație în jurul axei $O_s y_s$, după transformarea:

$$M_{sa} = \begin{vmatrix} \cos w & 0 & -\sin w & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin w & 0 & \cos w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{66}$$

în care w este parametrul rotației.

Ținînd seama de relația (54), suprafața S_s se exprimă prin raza vectoare:

$$\bar{\rho}_s = \begin{vmatrix} x_s^a \cos w \\ y_s^a \\ x_s^a \sin w \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_s(p, w). \tag{67}$$

Tangenta la profilul axial Γ_a, dezvoltată pe baza relației (55) și transpusă în sistemul Σ_s este:

$$\bar{\tau}_s^a = \begin{vmatrix} \cos w \\ \operatorname{ctg} \mu \\ \sin w \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau_{sx}^a \\ \tau_{sy}^a \\ \tau_{sz}^a \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{\tau}_s^a(p, w). \tag{68}$$

Scanned with OKEN Scanner

Normala atașată la suprafața S_s are forma:

$$\bar{N}_s = \begin{vmatrix} \cos w \\ -\operatorname{tg}\mu \\ \sin w \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_{sx} \\ n_{sy} \\ n_{sz} \\ 0 \end{vmatrix} = \bar{N}_s(p, w). \tag{69}$$

Viteza relativă, în acest caz are operatorul (61), particularizat prin $\theta_0=0$ și dezvoltată sub forma:

$$\bar{v}_{SF} = \begin{vmatrix} -(y_s^a + A_0 - P_A\varphi) \\ x_s^a \cos w - P_A \\ h \\ 0 \end{vmatrix}. \tag{70}$$

Pe baza relațiilor (69) și (70) se dezvoltă ecuația angrenării sub forma:

$$(y_s^a + A_0 - P_A\varphi)\cos w + (x_s^a \cos w - P_A)\operatorname{tg}\mu - h\sin w = 0. \tag{71}$$

Soluția acestei ecuații în raport cu φ, este:

$$\varphi = \frac{1}{P_A}\left(y_s^a + A_0 + x_s^a \operatorname{tg}\mu - \frac{P_A \operatorname{tg}\mu + h\sin w}{\cos w}\right). \tag{72}$$

Ecuația suprafeței S_α^R se obține din produsul $M_{FS}\bar{\rho}_S$, determinat de relațiile (67) și (34), aceasta din urmă particularizat prin $\theta_0=0$. Astfel rezultă:

$$\bar{\rho}_\alpha^R = \begin{vmatrix} x_s^a \cos w \cos\varphi - (y_s^a + A_0 - P_A\varphi)\sin\varphi \\ x_s^a \cos w \sin\varphi + (y_s^a + A_0 - P_B\varphi)\cos\varphi \\ x_s^a \sin w - h\varphi \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_\alpha^R \\ y_\alpha^R \\ z_\alpha^R \\ 1 \end{vmatrix} = \bar{\rho}_\alpha^R(p, w, \varphi), \tag{73}$$

în care φ este soluția (72) a ecuației (71).

Fețele de așezare reale detalonate radial cu sculă-disc și cu sculă-deget servesc pentru calculul muchiei de așchiere reale.

12. Rezultatele cercetărilor numerice

În scopul determinării profilului discului abraziv pentru detalonare radială s-a pornit de la parametrii de definire a frezei-melc duplex S-FD-1250, fabricată de I.M. Cugir. Parametrii de definire a acestei scule sînt dați în tabelul 7.1.

Profilul sculei abrazive, determinat după procedeul elaborat, pentru un unghi de așezare lateral $\alpha_1=5°$ este indicat în fig. 7.14. Din analiza figurii se observă o asimetrie pe cele două flancuri — ceea ce s-a observat și la măsurătorile experimentale.

Scanned with OKEN Scanner

Utilizînd freze-melc rectificate după metoda de profilare stabilită în lucrare, s-au obținut roți melcate în treptele de precizie 4 și 5 (STAS 6460-81).

Tabelul 7.1. **Parametrii definitori ai frezei melc analizată numeric**

Denumire	Simbol	Valoare
Modul axial	m_e	6,5
Variația modulului	δm	0,06
Unghiuri de profil	α_1	9°30′
	α_1	12°45′
Coeficientul diametral al sculei	q	15,21
Înălțimea de detalonare	K_a	5
Număr de canale	Z_c	10
Număr de începuturi	z_M	1
		2

Această sumară prezentare a vastului program de încercări experimentale, fundamentează corectitudinea algoritmului.

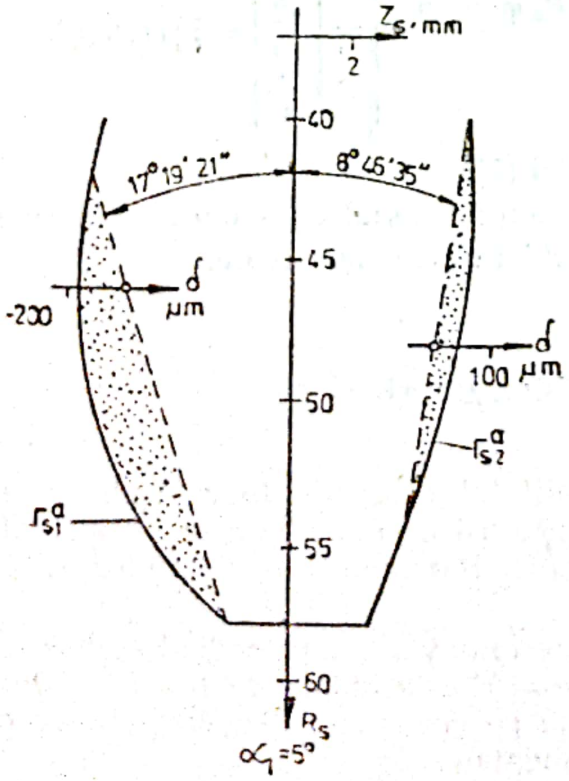


Fig. 7.14. Profilul axial al discului abraziv pentru rectificarea unei freze-melc duplex.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Gyenge, Cs. Contribuţii asupra îmbunătăţirii preciziei frezelor-melc pentru executarea angrenajului melcat duplex". Teză de doctorat. Cluj-Napoca, Institutul Politehnic, 1979.
2. Gyenge, Cs. Studiul tehnologiei prelucrării suprafeţelor elicoidale cu ajutorul versorilor triedrului lui Frenet. In: Studii şi cercetări de mecanică aplicată, Tom 36, Nr. 2, 1977, p. 245—252.
3. Gyenge, Cs. şi Bocian, I. Un nou procedeu pentru realizarea frezelor-melc de înaltă precizie. A IV-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice, I.M. Cugir, iunie, 1978.
4. Laşnev, S.I. Formoobrazovanie zubceatîh detalei roecinîmi i cerveacinimî instrumentami. Moskva, Izd. Maninostroenie, 1971.
5. Maros, D., Gyenge, Cs. şi Orlandea, N. Calculul sculelor-disc pentru prelucrarea şuruburilor pompelor elicoidale şi unele aspecte ale tehnologiei prelucrării acestor pompe. In: Construcţia de maşini, nr. 7, 1971, p. 394—401.
6. Litvin, F.L. Teoria zuciatîh zaţeplenie. Izdatelstvo Nauka, Moskva, 1972.
7. Antal, A. Contribuţii la stabilirea erorilor care apar la profilarea şi reascuţirea frezelor-melc, cu unghi de egajare pozitiv. Teză de doctorat. Cluj, Institutul Politehnic, 1972.
8. Bocian, I. Calculul geometric al sculelor supradeterminate matematic. Conferinţa de scule aşchietoare, Braşov, noiembrie, 1975.
9. Gyenge, Cs. şi Bocian, I. Teoria generală pentru determinarea impreciziilor geometrice ale frezelor-melc şi optimizarea acestora. Comunicare la Sesiunea ştiinţifică jubiliară, Institutul politehnic Cluj-Napoca, 28—29 oct. 1978.
10. Lăzărescu, I., Ghircoiaşu, N. şi Antal, A. Unele aspecte ale preciziei obţinute la prelucrarea cu freze detalonale, prevăzute cu unghi de dagajare. In: Buletin ştiinţific al Institutului politehnic Cluj, 1965, p. 345—364.
11. Gyenge, Cs. şi Bocian, I. Optimizarea numerică şi realizarea frezelor-melc duplex de înaltă precizie. Sesiunea ştiinţifică jubiliară, Institutul Politehnic Cluj-Napoca. 28—29 oct. 1978.

Scanned with OKEN Scanner

8

Proiectarea angrenajelor cilindrice cu număr mic de dinți

Prof. dr. ing. *Vasile Merticaru*
Șef lucrări dr. ing. *Virgil Atanasiu*
Institutul Politehnic Iași

1. Introducere

Angrenajele cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinți sînt de mare actualitate pe plan mondial datorită avantajelor și perspectivelor de utilizare pe care le prezintă. Avantajele majore remarcate sînt următoarele: raport mare de transmitere, tehnologie simplă de prelucrare și control, cost scăzut, randament ridicat, gabarit și masă reduse, eliminarea consumului de materiale deficitare (bronzuri) în cazul înlocuirii angrenajelor melcate. Aplicațiile industriale preconizate prevăd o gamă largă de domenii, de la reductoare de uz general, la motoreductoare pentru acționarea roboților industriali.

Utilizarea acestor angrenaje pe scară largă, la nivel național, nu este posibilă fără existența unei metodologii specifice de proiectare. Cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul Laboratorului de Mecanisme de la Institutul Politehnic Iași au permis evidențierea aspectelor specifice de geometrie și portanță care apar o dată cu micșorarea numărului de dinți la pinion, în vederea stabilirii concepției de proiectare și a condițiilor de exploatare.

Soluționarea problemelor specifice de generare și angrenare necesită stabilirea valorilor optime ale deplasărilor de profil, diametrelor de cap și a lățimii roților dințate componente ale angrenajelor analizate [1, 12].

Dimensionarea acestor angrenaje, pe baza criteriilor de rezistență, a impus analiza și evidențierea modului de considerare a unor factori de influență în scopul asigurării unei bune concordanțe între rezultatele cercetărilor teoretice și ale celor experimentale.

Simbolurile utilizate sînt cele standardizate [17, 18 și 20].

2. Criterii de alegere a deplasărilor de profil

Realizarea unor angrenaje cilindrice cu proprietăți optime pentru condiții concrete constructive și funcționale este în strînsă legătură cu stabilirea deplasărilor de profil ale roților dințate componente. Eficacitatea deplasărilor de profil este mai pronunțată la angrenajele cilindrice cu număr mic de dinți, la una sau la ambele roți dințate.

Scanned with OKEN Scanner

Problema stabilirii deplasărilor de profil este o problemă de optimizare, pe baza criteriilor de geometrie, cinematică și portanță. Criteriile de geometrie și cinematică permit stabilirea unor valori limită ale coeficienților deplasărilor de profil care să asigure evitarea fenomenelor negative specifice generării și angrenării. Criteriul capacității portante consideră influența unor factori dependenți de mărimea coeficienților deplasărilor de profil, dintre care se remarcă alunecările specifice și presiunea de contact.

Alunecările specifice condiționează mărimea coeficienților deplasărilor de profil la pinion și roata condusă, în scopul de a realiza valori și sensuri favorabile pentru alunecările specifice ξ_1 și ξ_2 pe profilurile dinților în contact. Spre deosebire de alunecările specifice pozitive, cele negative conduc la o reducere a rezistenței la oboseala de contact și se impune evitarea lor în zonele de angrenare caracterizate prin valori ridicate ale presiunii de contact.

Lipsa unor recomandări referitoare la stabilirea coeficienților deplasărilor de profil pentru angrenajele cilindrice cu număr mic de dinți, componente ale reductoarelor de turație, necesită analiza modului de repartizare a sumei coeficienților deplasărilor de profil $x_{n\Sigma}$ în concordanță cu funcția obiectiv urmărită. Exemplificarea din fig. 8.1 prezintă

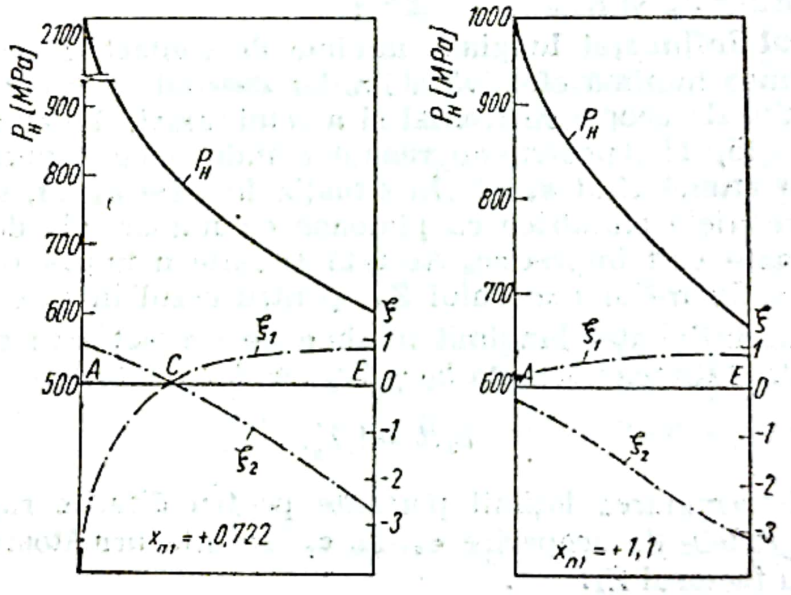


Fig. 8.1.

variația alunecărilor specifice și a presiunii de contact P_H pe lungimea segmentului de angrenare, pentru două variante de distribuție a sumei coeficienților deplasărilor de profil (z_1=4; z_2=51; β=20°; $x_{n\Sigma}$=0,792). Creșterea valorii coeficientului deplasării de profil la pinion permite micșorarea alunecărilor specifice pe flancurile dinților pinionului și, în plus, obținerea unor valori pozitive. Totodată, se obține o reducere substanțială a valorii presiunii de contact în zona de intrare în angrenare. În acest mod se evită realizarea, în această zonă, a unor valori ridicate pentru alunecarea specifică negativă și presiune de contact, ceea ce oferă premisele obținerii unei capacități portante ridicate a angrenajului analizat.

Analizele efectuate [1, 12] permit să se constate că valorile cele mai favorabile ale factorilor care influențează capacitatea portantă, fac-

Scanned with OKEN Scanner

tori dependenți de mărimea și raportul coeficienților deplasărilor de profil x_{n1} și x_{n2}, se obțin în cazurile în care $x_{n1} > x_{n1min}$, în care x_{n1min} este coeficientul minim al deplasării profilului pinionului la limita subtăierii.

3. Calculul la oboseală de contact a flancurilor dinților

Calculul tensiunii de contact la angrenajele cilindrice se efectuează în polul angrenării [15, 17], cu relația

$$\sigma H_C = Z_H Z_E Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{W_{Ht}(u+1)/u}, \tag{1}$$

în care

$$W_{Ht} = F_t K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}/(b d_1), \tag{2}$$

Analiza factorilor componenți ai relației (1) și a rezultatelor numerice obținute, comparativ cu rezultatele cercetărilor experimentale, a fost impusă de necesitatea stabilirii modului de considerare a factorilor care determină mărimea tensiunii de contact la angrenajele cilindrice cu număr mic de dinți, corespunzător comportării lor în funcționare. În acest scop se impun precizări asupra modului de considerare, la aceste angrenaje, a factorilor Z_ε și $K_{H\beta}$,

Factorul influenței lungimii minime de contact. Factorul Z_ε consideră lungimea minimă efectivă a liniilor de contact și depinde de mărimea gradului de acoperire frontal și a celui axial. Relațiile de calcul cuprinse în [15, 17], pentru angrenaje cilindrice cu dantură înclinată, sînt valabile atunci cînd $\varepsilon_\alpha > 1$. În situația în care $\varepsilon_\alpha < 1$, situație întîlnită la angrenajele cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinți, relațiile menționate sînt imprecise. Această situație a impus reconsiderarea modului de estimare al factorului Z_ε pentru cazul în care $\varepsilon_\alpha < 1$.

Factorul influenței lungimii minime de contact este dependent de raportul dintre lățimea portantă b_T și lățimea b a danturii:

$$b_T/b = 1/Z_\varepsilon^2, \tag{3}$$

Prin determinarea lățimii portante pentru diferite raporturi existente între gradele de acoperire ε_α, ε_β, ε_γ rezultă următoarele relații de calcul pentru factorul Z_ε:

a) $\varepsilon_\alpha < 1$; $\varepsilon_\beta < 1$; $\varepsilon_\gamma > 1$,

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_\beta/(\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta - 1)}; \tag{4}$$

b) $\varepsilon_\alpha < 1$; $\varepsilon_\beta \geq 1$; $\varepsilon_\gamma < 2$,

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_\beta/\varepsilon_\alpha}; \tag{5}$$

c) $\varepsilon_\alpha < 1$; $\varepsilon_\beta > 1$; $\varepsilon_\gamma > 2$,

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_\beta/(2\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta - 2)}, \tag{6}$$

Analiza factorului Z_ε pe baza datelor numerice prezentate în fig. 8.2 indică faptul că situațiile cele mai favorabile se obțin în cazul în

Scanned with OKEN Scanner

care gradul de acoperire axial $\varepsilon_\beta=1$. Realizarea unor valori mai mari pentru ε_β nu are consecinţe favorabile pentru factorul Z_ε şi poate conduce la mărirea gabaritului transmisiei — datorită creşterii lăţimii danturii.

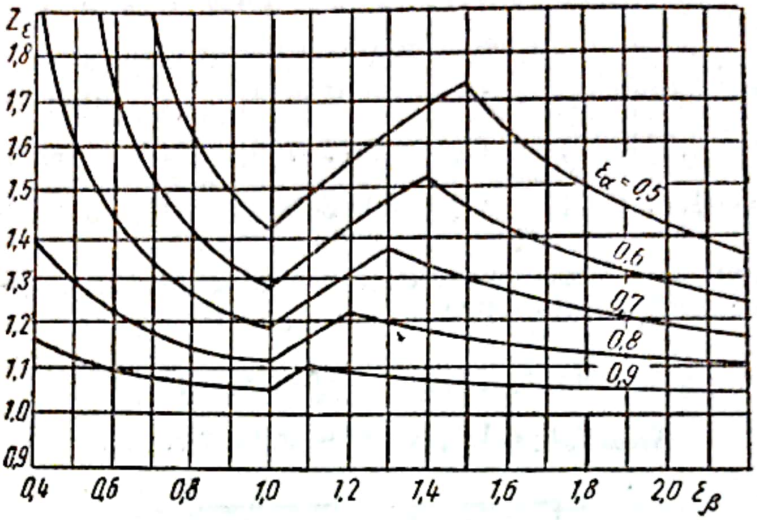


Fig. 8.2.

Factorul distribuţiei sarcinii pe lăţimea danturii. Analiza critică a metodelor de calcul folosite pentru factorul $K_{H\beta}$ evidenţiază relaţiile propuse în [8, 13], care au o bună concordanţă cu rezultatele comportării în exploatare ale angrenajelor cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinţi (fig. 8.3):

a) $b_{cal}/b>1$, $K_{H\beta}=1+0{,}25F_{\beta y}/F_{z0}$ (fig. 8.3, *a*); (7)

b) $b_{cal}/b\leqslant 1$, $K_{H\beta}=2(F_{\beta y}/3F_{z0})^{1/3}$ (fig. 8.3, *b*), (8)

unde b_{cal} este lăţimea calculată de contact; $F_{\beta y}$ — abaterea direcţiei dintelui după rodare; F_{z0} — deformaţia dinţilor în contact la o angrenare fără abateri,

$$F_{z_0}=\frac{F_t f_z^*}{[(b/Z_\varepsilon^2)\cos\alpha_t]}. \qquad (9)$$

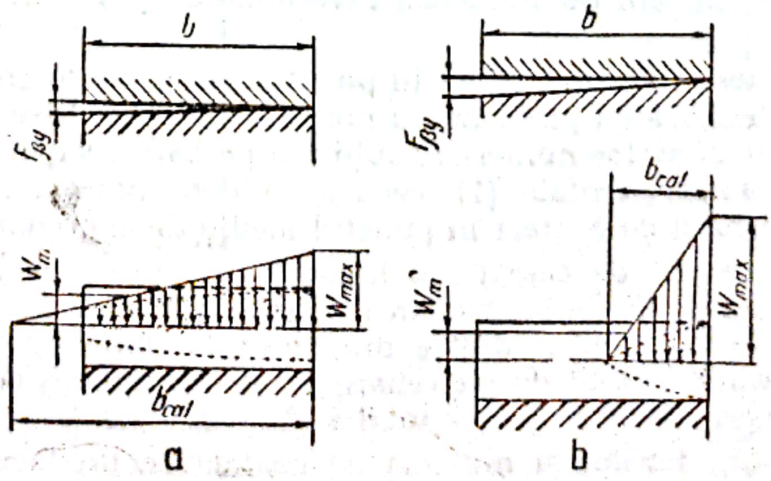


Fig. 8.3.

Deformaţia specifică f_z^* a dinţilor în angrenare se calculează cu relaţia [1]:

$$f_z^* = C_1 + C_2/z_1 + C_3/z_2 + C_4(x_1 - x_{1\,min}) + C_5(x_1 - x_{1\,min}) + C_6 x_2 + C_7 x_2/z_2 + C_8(x_1 - x_{1\,min})^2 + C_9 x_2^2, \quad (10)$$

în care:

$C_1 = 0{,}063772$; $C_2 = 0{,}019674$; $C_3 = 0{,}163918$;
$C_4 = 0{,}037727$; $C_5 = -0{,}159505$; $C_6 = 0{,}004580$;
$C_7 = -1{,}197031$; $C_8 = -0{,}028556$; $C_9 = 0{,}002383$.

Determinarea acestor coeficienţi s-a efectuat la angrenajele cilindrice cu dantura definită de STAS 821-82, pentru:

$$4 \leqslant z_1 \leqslant 16; \qquad 8 \leqslant i \leqslant 14;$$
$$x_{1min} \leqslant x_1 \leqslant 1{,}1; \qquad -0{,}9 \leqslant x_2 \leqslant 0{,}9.$$

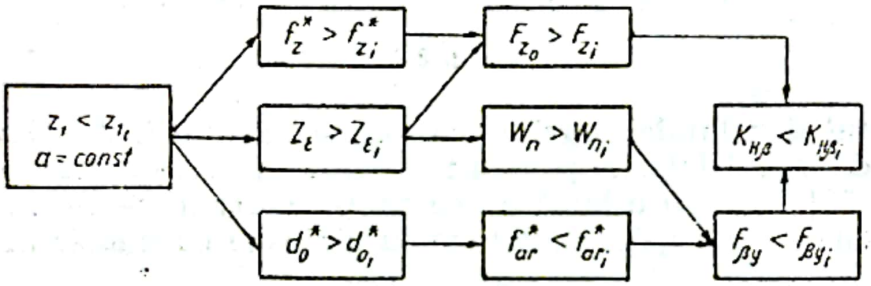


Fig. 8.4.

Influenţa numărului de dinţi asupra factorului de distribuţie a sarcinii $K_{H\beta}$ se poate analiza pe baza schematizării prezentate în fig. 8.4. Se poate constata că micşorarea numărului de dinţi, pentru o distanţă între axe $a = \text{const}$, conduce la creşterea deformaţiei specifice f_z^* a dinţilor în angrenare şi a factorului Z_ε — cu implicaţii favorabile asupra factorului $K_{H\beta}$, Totodată creşte rigiditatea arborelui pinion, ceea ce conduce la micşorarea deformaţiei elastice specifice f_{ar}^* a acestuia şi deci a abaterii totale $F_{\beta y}$, cu implicaţii de asemenea favorabile asupra mărimii factorului $K_{H\beta}$.

Calculul tensiunii de contact în punctul mediu de angrenare. Pentru angrenajele cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinţi se constată abateri mari ale rezultatelor numerice, obţinute pe baza relaţiei (1), în raport cu rezultatele experimentale [1], ceea ce a determinat analiza metodei de calcul a tensiunii de contact în punctul mediu de angrenare.

Această metodă de calcul are la bază ipoteza că, la danturi înclinate, calculul tensiunii de contact la mijlocul unei linii de contact poate cuprinde mai bine raportul dintre diferiţii factori de influenţă [9]. În fig. 8.5 se prezintă planul de angrenare al unui angrenaj cu dantura înclinată la care gradul de acoperire total $\varepsilon < 2$.

Dacă $z_1 < z_2$, tensiunea maximă de contact se produce atunci cînd linia de contact trece prin punctul de angrenare singular — corespunzător unui plan frontal extrem.

Scanned with OKEN Scanner

O valoare medie pentru tensiunea de contact se găsește în punctul mediu de angrenare M, care este punctul de intersecție cu axa de simetrie a danturii (fig. 8.6) și se poate calcula cu relația

$$\sigma H_{bt} = \sigma H_C \operatorname{tg} \alpha_{tw} / (\varphi_{tm1} \varphi_{tm2})^{1/2},$$

unde:

$$\varphi_{tm1} = \operatorname{tg} \alpha_{ta1} - (2 - \varepsilon_\beta)\pi / z_1, \quad \text{pentru} \quad \varepsilon_\beta < 1;$$

$$\varphi_{tm1} = \operatorname{tg} \alpha_{ta1} - \pi / z_1, \quad \text{pentru} \quad \varepsilon_\beta \geqslant 1;$$

$$\varphi_{tm2} = \operatorname{tg} \alpha_{tw}(u+1)/u - \varphi_{tm1}/u;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{ta1} = (d_{a1}^2 / d_{b1}^2 - 1)^{1/2},$$

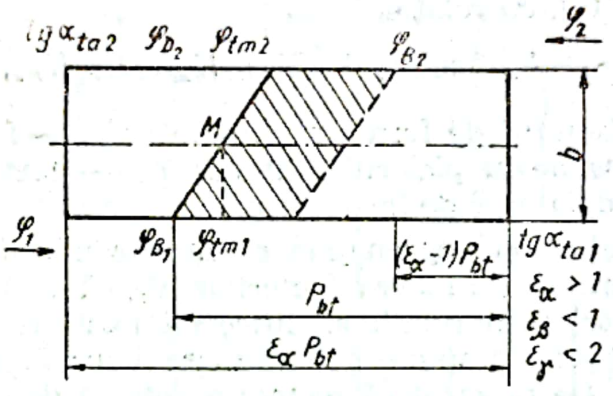


Fig. 8.5.

Angrenajele cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinți prezintă situații în care gradul de acoperire frontal $\varepsilon < 1$. În acest caz, punctele de angrenare singulară nu mai pot fi particularizate în planele frontale ale planului de angrenare, ci în planele axiale. La aceste angrenaje, punc-

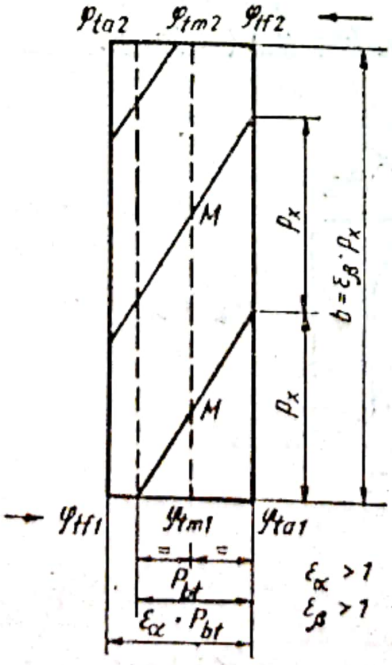


Fig. 8.6.

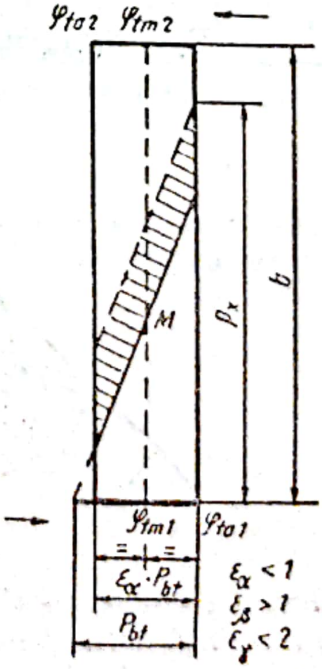


Fig. 8.7.

Scanned with OKEN Scanner

tul mediu de angrenare M se consideră la mijlocul unei linii de contact (fig. 8.7), iar unghiurile φ_{tm1}, φ_{tm2} se calculează cu relaţiile:

$$\varphi_{tm1}=\operatorname{tg}\alpha_{ta1}-\varepsilon_\alpha\pi/z_1;$$

$$\varphi_{tm2}=\operatorname{tg}\alpha_{ta2}-\varepsilon_\alpha\pi/z_2;$$

unde

$$\operatorname{tg}\alpha_{ta2}=(d_{a2}^2/d_{b2}^2-1)^{1/2},$$

4. Calculul dinţilor la oboseală prin încovoiere

Tensiunea de oboseală prin încovoiere la piciorul dintelui σ_F se calculează, după [15, 17], cu relaţia

$$\sigma_F=F_t/(bm_n)Y_{Fa}Y_{Sa}Y_\varepsilon Y_\beta K_A K_V K_{F\beta}K_{F\alpha},$$

în care: Y_{Fa} este factorul de formă al dintelui; Y_{Sa} — factorul concentratorului de tensiune de la piciorul dintelui; Y_ε — factorul gradului de acoperire pentru solicitarea de încovoiere.

La roţile dinţate şi angrenajele cu număr mic de dinţi se impun precizări referitoare la estimarea factorilor Y_{Fa}, Y_{Sa}, Y_ε. Pe lîngă definirea acestor factori prin relaţii analitice cît mai exacte, automatizarea proiectării angrenajelor impune şi realizarea unor algoritme programabile pe calculator. De precizat că metodica actuală de calcul [15, 17] nu consideră scurtarea capului dintelui care apare la roţile dinţate cilindrice cu număr mic de dinţi.

Factorul de formă al dintelui. Factorul de formă al dintelui Y_{Fa} indică influenţa formei dintelui asupra solicitării de încovoiere la piciorul dintelui. Modelul de calcul ISO—DIN [15, 17] se bazează pe convenţia că tensiunea critică la baza dintelui şi, implicit, ruperea s-ar datora exclusiv încovoierii. Factorul de formă al dintelui se calculează cu relaţia (fig. 8.8)

$$Y_{Fa}=6(h_{Fa}/m_n)(\cos\alpha_{Fan}/\cos\alpha_n)/(s_{Fn}/m_n)^2.$$

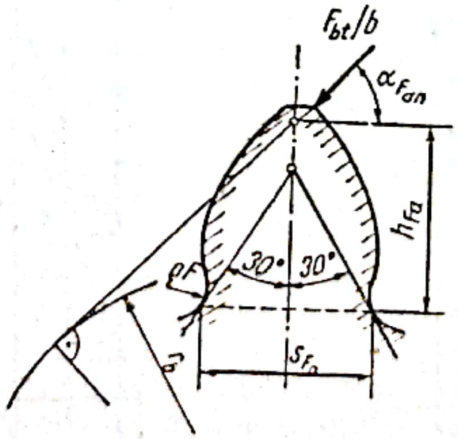


Fig. 8.8.

În calculul coeficientului de formă Y_{Fa} se consideră parametrii cremalierei de referinţă definiţi de STAS 821-82.

Determinarea valorilor numerice ale acestui coeficient a necesitat realizarea unui program de calcul în limbaj FORTRAN. În cadrul aces-

Scanned with OKEN Scanner

tui program de calcul s-a ţinut seama şi de scurtarea capului dintelui care intervine la roţile dinţate cilindrice cu număr mic de dinţi. Valorile coeficientului de formă Y_{Fa}, pentru $z=3\ldots12$, sînt indicate în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. **Factorul de formă al dintelui***

X	Numărul de dinţi									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.25	****	****	****	****	****	****	****	2.97	2.86	2.76
0.30	****	****	****	****	****	****	2.95	2.82	2.73	2.65
0.35	****	****	****	****	****	2.90	2.79	2.71	2.62	2.56
0.40	****	****	****	****	2.84	2.71	2.63	2.58	2.53	2.46
0.45	****	****	****	2.80	2.64	2.55	2.49	2.44	2.43	2.39
0.50	****	****	****	2.59	2.47	2.39	2.36	2.33	2.32	2.31
0.55	****	****	2.59	2.40	2.31	2.26	2.23	2.22	2.20	2.21
0.60	****	2.71	2.39	2.24	2.17	2.13	2.11	2.11	2.11	2.11
0.65	3.21	2.46	2.20	2.09	2.03	2.01	2.01	2.01	2.02	2.03
0.70	2.84	2.24	2.04	1.95	1.92	1.91	1.91	1.92	1.93	1.95
0.75	2.53	2.05	1.89	1.83	1.81	1.81	1.82	1.83	1.85	1.87
0.80	2.27	1.88	1.76	1.72	1.71	1.72	1.73	1.75	1.78	1.79
0.85	2.04	1.73	1.64	1.61	1.62	1.63	1.66	1.68	1.70	1.72
0.90	1.84	1.60	1.53	1.52	1.53	1.55	1.58	1.61	1.64	1.67
0.95	1.67	1.48	1.43	1.43	1.45	1.48	1.51	1.55	1.57	1.61
1.00	1.52	1.37	1.34	1.35	1.38	1.42	1.45	1.48	1.52	1.55
1.05	1.39	1.27	1.26	1.28	1.32	1.35	1.39	1.43	1.47	1.50
1.10	1.28	1.18	1.19	1.21	1.25	1.30	1.34	1.37	1.42	1.45
1.15	1.17	1.11	1.12	1.15	1.20	1.24	1.28	1.33	1.37	1.40
1.20	1.08	1.03	1.06	1.09	1.14	1.19	1.23	1.28	1.32	1.36
1.25	1.00	0.97	1.00	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.28	1.32
1.30	0.93	0.91	0.94	0.99	1.04	1.10	1.15	1.19	1.24	1.28
1.35	0.86	0.85	0.89	0.95	1.00	1.06	1.11	1.16	1.21	1.25
1.40	0.80	0.80	0.85	0.90	0.96	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22
1.45	0.74	0.76	0.81	0.87	0.92	0.98	1.04	1.09	1.14	1.18
1.50	0.70	0.71	0.77	0.83	0.89	0.95	1.01	1.06	1.11	1.15

* În tabelele 8.1 şi 8.2 punctul separă partea zecimală a numărului (conform înregistrării la calculator).

Factorul concentratorului de tensiune. Acest factor consideră influenţa razei de racordare a piciorului dintelui ρ_F asupra tensiunii de încovoiere σ_F şi se calculează cu relaţia

$$Y_{Sa}=(1{,}2+0{,}13\,L_a)q_s^{1/(1{,}21+2{,}3/L_a)}$$

în care: $$L_a=s_{Fn}/h_{Fa} \text{ şi } q_s=s_{Fn}/(2\rho_F).$$

Valori ale factorului Y_{Sa}, pentru $z=3\ldots12$, sînt prezentate în tabelul 8.2.

Factorul gradului de acoperire. Factorul gradului de acoperire Y_ε se calculează cu relaţia

$$Y_\varepsilon=0{,}25+0{,}75/\varepsilon_{\alpha n},$$

în care $\varepsilon_{\alpha n}$ este gradul de acoperire frontal al angrenajului echivalent.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.2. **Factorul concentratorului de tensiune**

x	Numărul de dinți									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.25	****	****	****	****	****	****	****	1.84	1.89	1.93
0.30	****	****	****	****	****	****	1.83	1.89	1.93	1.97
0.35	****	****	****	****	****	1.84	1.88	1.93	1.97	2.01
0.40	****	****	****	****	1.84	1.90	1.94	1.97	2.01	2.05
0.45	****	****	****	1.83	1.90	1.95	1.99	2.03	2.05	2.08
0.50	****	****	****	1.90	1.97	2.02	2.05	2.08	2.10	2.11
0.55	****	****	1.89	1.97	2.03	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16
0.60	****	1.84	1.96	2.04	2.10	2.13	2.16	2.18	2.19	2.21
0.65	1.72	1.92	2.03	2.11	2.16	2.19	2.21	2.23	2.24	2.25
0.70	1.80	1.99	2.10	2.17	2.22	2.25	2.27	2.28	2.29	2.29
0.75	1.88	2.07	2.17	2.24	2.28	2.30	2.32	2.33	2.33	2.33
0.80	1.95	2.14	2.24	2.30	2.33	2.35	2.36	2.37	2.37	2.38
0.85	2.02	2.21	2.30	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.41
0.90	2.09	2.27	2.36	2.41	2.43	2.45	2.45	2.45	2.45	2.44
0.95	2.14	2.32	2.41	2.45	2.48	2.49	2.49	2.48	2.48	2.47
1.00	2.19	2.37	2.46	2.50	2.52	2.52	2.52	2.52	2.51	2.50
1.05	2.22	2.41	2.49	2.53	2.55	2.56	2.55	2.55	2.54	2.53
1.10	2.24	2.43	2.52	2.56	2.58	2.58	2.58	2.57	2.56	2.55
1.15	2.25	2.45	2.54	2.58	2.60	2.60	2.60	2.59	2.58	2.57
1.20	2.24	2.45	2.55	2.59	2.61	2.62	2.61	2.61	2.60	2.58
1.25	2.22	2.44	2.55	2.60	2.62	2.62	2.62	2.61	2.60	2.60
1.30	2.18	2.42	2.54	2.59	2.62	2.63	2.63	2.62	2.61	2.60
1.35	2.12	2.39	2.52	2.58	2.61	2.62	2.62	2.62	2.61	2.60
1.40	2.06	2.35	2.49	2.56	2.60	2.61	2.62	2.62	2.61	2.60
1.45	1.98	2.29	2.45	2.53	2.57	2.59	2.60	2.61	2.60	2.59
1.50	1.90	2.23	2.40	2.50	2.54	2.57	2.58	2.59	2.59	2.59

La angrenajele cilindrice cu gradul de acoperire frontal $\varepsilon_\alpha < 1$, calculul factorului Y_ε se face cu relațiile:

$$Y_\varepsilon = \varepsilon_\beta/(\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta - 1), \text{ pentru } \varepsilon_\beta < 1; \quad \varepsilon_\beta < 1; \quad \varepsilon_\gamma > 1;$$

$$Y_\varepsilon = \varepsilon_\beta/\varepsilon_\alpha, \qquad \text{pentru } \varepsilon_\alpha < 1; \quad \varepsilon_\beta \geqslant 1; \quad \varepsilon_\gamma < 2;$$

$$Y_\varepsilon = \varepsilon_\beta/(2\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta - 2), \text{ pentru } \varepsilon_\alpha < 1; \quad \varepsilon_\beta > 1; \quad \varepsilon_\gamma > 2,$$

5. Concluzii

Necesitatea perfecționării metodicii de proiectare pentru angrenajele cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinți în vederea asigurării reproductibilității rezultatelor numerice cu cele care evidențiază aspectele specifice ale comportării în funcționare ale acestor angrenaje a impus reconsiderarea modului de estimare a unor factori de influență și adoptarea unor noi ipoteze de calcul. Se indică, totodată, valorile numerice ale unor factori de influență care intervin în calculul de rezistență al roților dințate și angrenajelor cu număr mic de dinți. În acest mod se asigură o creștere a preciziei de calcul de pînă la 60% în raport cu metodele uzuale de calcul ale angrenajelor cilindrice.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul tensiunii de contact în punctul mediu de angrenare permite evidenţierea influenţei modului de repartizare a deplasărilor de profil pe roţile dinţate ale angrenajului şi se poate aplica la angrenajele cu dantură înclinată indiferent de poziţia polului C în raport cu punctele A şi E care delimitează segmentul de angrenare. Aceste constatări, împreună cu modul atipic de distribuţie a deteriorării de tip pitting pe flancurile dinţilor roţilor dinţate cu număr mic de dinţi [1], impun adoptarea metodei de calcul a tensiunii de contact în punctul mediu de angrenare pentru aceste angrenaje. Eficienţa aplicării acestei metode este cu atît mai ridicată, cu cît numărul de dinţi la pinion este mai mic.

Stabilirea valorilor optime ale coeficienţilor deplasărilor de profil pentru roţile dinţate componente ale angrenajelor cilindrice cu număr mic de dinţi se efectuează pe baza criteriilor de geometrie, cinematică şi portanţă. Valori superioare ale capacităţii portante se obţin în cazul angrenajelor extrapolare la care duritatea flancurilor dinţilor roţii conduse este mai mare decît a pinionului.

BIBLIOGRAFIE

1. Atanasiu, V. Contribuţii la studiul angrenajelor cilindrice cu pinioane cu număr mic de dinţi, aplicate la reductoarele de turaţie. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Iaşi, 1986.
2. Atanasiu, V. Load Carrying Capacity of Helical Gear Pairs with Small Number of Pinion Teeth. Buletinul Institutului Politehnic Iaşi, Tomul XXXIII (XXXVII), Fasc. 1—2, Secţia IV, 1987.
3. Atanasiu, V. şi Merticaru, V. Cylindrical Gears Synthesis for High Values of Gear Ratio. Modelling, Simulation & Control, B, AMSE Press, Vol. 14, No. 4, 1988.
4. Dawson, P. H. The Effect of Sliding on Rolling Contact Pitting. J. Mech. Eng. Sci., 23, No. 6, 1981.
5. Fujita, K. şi Yoshida, A. Effect of Specific Sliding on Surface Durability of Case-Hardened Cromium Molybdenum Steel Roller. Bull., JSME, 23, No. 178, 1980.
6. Kollenrott, Fr. şi Mende, H. Evoloid-Verzahnungen für Leistungsgetriebe mit grossen Übersetzungsverhältnissen. VDI-Berichte, Nr. 332, 1979.
7. Henriot, G. Reflexions on the Longitudinal Distribution Factor $K_{H\beta}$ of the ISO procedure. Int. Symp. on Gearing & Power Transmission, Tokyo, 1981.
8. Linke, H. şi Senf, M. Breitenlastverteilung bei Verzahnungen Berechnung und Diskussion von Einflüssen. Maschinenbautechnik, 32, Nr. 10, 1983.
9. Maier, V. I. Zahnflankentragfähigkeit. Wrrkstatt und Betrieb. 103, Nr. 2, 1970.
10. Merticaru, V. şi Atanasiu, V. Mecanisms with Cylindrical Gear Weels with Small Number of teeth and Involute Profile. Buletinul Institutului Politehnic Iaşi, Tomul XXVI (XXX), Fasc. 3—4, Secţia IV, 1980.
11. Merticaru, V. şi Atanasiu, V. Theoretical and Experimental Aspects Concerning Surface Fatigue Life of Cylindrical Gears with Smaller Number of Teeth. Ist Conference on Mechanics. Praha, 1987.
12. Merticaru, V. Atanasiu, V. Tivlea, P., Oprişan. C. Angrenaje cilindrice cu număr mic de dinţi, TCMM, Vol. 2, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.
13. Niemann, G. Maschinenelemente. Berlin, Springer-Verlag, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

14. Roth, K. Zahradpaarungen mit Komplementprofilen zur Erweiterung der Eingriffsverhältnisse und Erhöhung der Fuß — und Flankentragfähigkeit. Konstruktion, 34, H.3, 1982.
15. DIN 3990 (Entwurf). Grundlagen für die Tragfähigkeitsberechnung von Gerad — und Schrägstirnrädern. Hrsg. Normenausschuss Antriebsrechnik, 1980.
16. ISO/DIN 6336. Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears (1983).
17. STAS 12268-84. Angrenaje cilindrice cu dantură în evolventă. Calculul de rezistentă.
18. STAS 12223-84. Angrenaje cilindrice exterioare cu danturi înclinate, în evolventă. Calculul geometric și cinematic.
19. STAS 821-82. Angrenaje cilindrice în evolventă de uz general. Profilul de referință.
20. Institutul Român de Standardizare. Organe de mașini. Vol. III c. Standarde noi sau revizuite.

Scanned with OKEN Scanner

TM GM

IV

MATERIALE. UTILIZARE, REFOLOSIRE, ÎNLOCUITORI

Scanned with OKEN Scanner

9

Criterii de echivalență privind oțelurile crom-molibden de tip 1,5-0,5 folosite în construcția de aparatură tehnologică

Prof. dr. ing. *Alecsandru Pavel*
Institutul de Petrol și Gaze Ploiești

1. Introducere

Documentația tehnică de referință, pe care se fundamentează studiul prezent, a privit direct aparatura tehnologică din instalațiile industriale de reformare catalitică (*RC*) și, în principal, a constat din: fișe de condiții tehnice pentru materialele în discuție; breviare ale unor calcule termomecanice tipizate; desene integrate în proiectele tehnice reprezentative; buletine de examinare și certificate de calitate, emise în mod special; standarde naționale (STAS 2883/3-80; STAS 8184-87; STAS 1097/2-86) și prescripții tehnice oficiale ISCIR [7]; standarde sovietice [1, 5, 6], nordamericane [3, 6], britanice [6], vestgermane [5, 6] și estgermane [6]; alte surse bibliografice concludente [2, 4]. S-au avut în vedere următoarele date generale așa-zise *de proiect:*

a) temperatura de calcul a metalului pus în operă (table): 499°C și, respectiv, 543,3°C;

b) materialele de bază utilizate: oțelurile indigene standardizate 14 CrMo 4.2b și 14 MoCr 10;

c) caracteristicile mecanice de calcul privind stabilirea tensiunii mecanice (rezistenței) admisibile: limita tehnică de curgere $R_c^{499}=R_{p\,0,2}^{499}=\sigma_c^{499}=\sigma_{0,2}^{499}=188$ N/mm², $R_c^{543,3}$ nefiind precizată ca atare și, corespunzător, rezistența tehnică de durată (fluaj) $Rr^{499}/100\,000=\sigma_d^{499}=\sigma_{r/100\,000}^{499}=137$ N/mm², respectiv $Rr^{543,3}/100\,000=\sigma_d^{543,3}=\sigma_{r/100\,000}^{543,3}=57$ N/mm²;

d) tensiunea mecanică (rezistența) admisibilă de calcul (proiectare): $\sigma_a=91$ N/mm² ($\leftarrow\sigma_d^{499}$) și, respectiv, $\sigma_a=38$ N/mm² ($\leftarrow\sigma_d^{543,3}$); prin urmare, valorile menționate $\sigma_a=f_a$ [7] sînt determinate — în exclusivitate — de către nivelul valoric al rezistenței tehnice de durată (fluaj) $\sigma_d=\sigma_{r/100\,000}=Rr/100\,000$, bineînțeles, la temperatura de calcul corespunzătoare;

e) coeficienții de siguranță: față de limita tehnică de curgere $\rightarrow c_c=C_{s1}=1,50$ și față de rezistența tehnică de durată (fluaj) $\rightarrow c_d=C_{f1}=1,50$; așadar, $c_c=c_d=1,50$, ceea ce este pe deplin corect, riguros și tehnic legal [7].

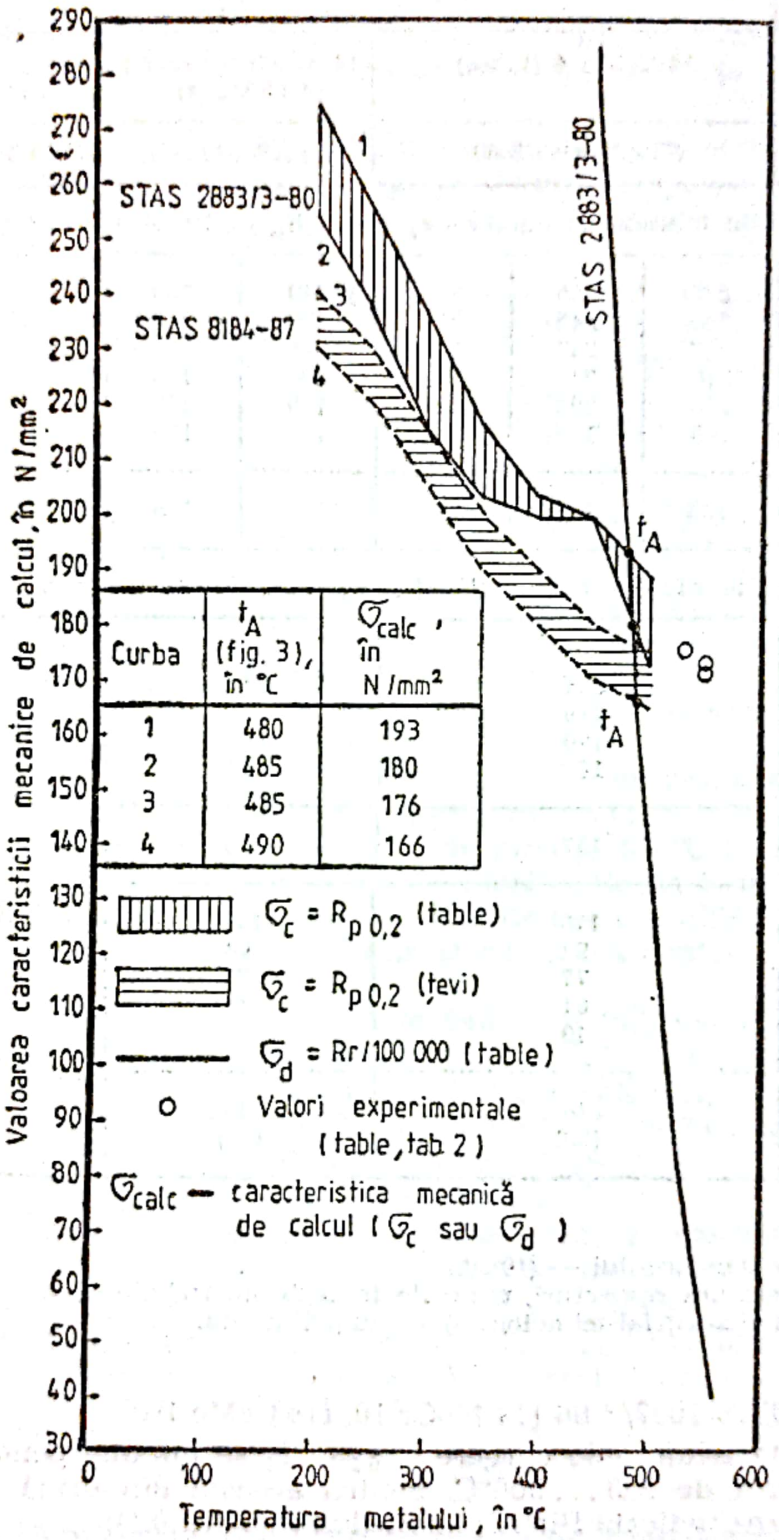
Referitor la unele (anumite) dintre prevederile legislației tehnice românești în vigoare, se fac următoarele mențiuni speciale:

1) în STAS 2883/3-80 (14 CrMo 4) și STAS 8184-87 (14 MoCr 10):

— limita tehnică de curgere $R_{p\,0,2}=\sigma_{0,2}$ se impune pentru temperaturile de calcul de 200 ... 500°C (fig. 9.1);

Scanned with OKEN Scanner

— rezistența tehnică de durată (fluaj) se indică (valori medii informative de calcul), pentru $Rr/100\,000 = \sigma_{r/100\,000} = \sigma_d$, în intervalul temperaturilor de calcul de 450 . . . 560 (570)°C (fig. 9.1 și tabelul 9.1);



Curba	t_A (fig. 3), în °C	σ_{calc}, în N/mm²
1	480	193
2	485	180
3	485	176
4	490	166

Fig. 9.1. Caracteristicile mecanice de calcul, standardizate și determinate experimental, pentru oțelurile indigene 14 CrMo 4 (STAS 2883/3-08) și 14 MoCr 10 (STAS 8184-87).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.1. **Caracteristici mecanice de calcul la temperaturi ridicate (σ_c pentru table cu grosimea $s \leq 16$ m, 16 mm $< s \leq 40$ mm şi 40 mm $< s \leq 60$ mm, respectiv pentru ţevi cu grosimea peretelui $s \leq 40$ mm şi $s > 40$ mm)**

Temperatura de calcul, în °C	Marca oţelului şi standardul					
	14 CrMo 4 (table)			14 MoCr 10 (ţevi) (14 CrMo 4)		14 MoCr 10 [piese forjate] (14 CrMo 4)
	STAS 2883/3-80			STAS 8184-87		STAS 1097/2-86
Limita tehnică de curgere $\sigma_c = \sigma_{0,2} = R_{p\ 0,2}$, în N/mm² (MPa)						
200	275	265	255	240	230	230
250	255	245	237	230	220	210
300	237	227	215	215	205	180
350	216	216	203	200	190	150
400	203	203	199	190	180	140
450	199	199	199	180	170	130
500	188	188	172	175	165	120*
Rezistenţa tehnică de durată (fluaj) $\sigma_d = Rr/100\,000$, în N/mm² (MPa)						
450	284			272		Conform STAS 2883/3-80 şi STAS 8184-87**
460	251			242		
470	219			206		
480	190			177		
490	163			150		
500	137			129		
510	116			109		
520	94			94		
530	77			77		
540	61			60		
550	49			49		
560	40			40		
(570)	(33)			(33)		

* Valori informative.

** În originalul standardului — (19)80.

( ) — La temperatura respectivă, oţelurile indicate nu trebuie să fie utilizate în exploatarea (industrial-tehnologică) de lungă durată.

2) în STAS 1097/2-86 [14 MoCr 10, (14 CrMo 4)]:

— limita tehnică de curgere $R_{p\ 0,2} = \sigma_{0,2}$ se impune pentru temperaturile de calcul de 200 ... 500°C, pentru această din urmă temperatură (500°C) valoarea indicată fiind informativă (tabelul 9.1);

— rezistenţa tehnică de durată (fluaj) $Rr/100\,000 = \sigma_d = \sigma_{r/100\,000} \rightarrow$ conform STAS 8184-87* şi STAS 2883/3-80;

* În original, (19)80.

Scanned with OKEN Scanner

3) în PT ISCIR C 4-83 [7, art. 2.2.3 și 2.3.3]:

— pentru temperaturi de calcul de peste 200°C, se va garanta prin buletinul de calitate valoarea limitei (tehnice) de curgere la cald (corespunzătoare);

— pentru temperaturi de calcul care depășesc 420°C (oțeluri slab aliate), normele de produs prevăd (garantează) rezistența tehnică de durată (fluaj).

În mod evident se impun cel puțin următoarele *observații:*

• standardele indigene limitează la 500°C impunerea și, deci, garantarea limitei tehnice de curgere $\sigma_{0,2}=R_{p\,0,2}$, ceea ce nu se precizează ca atare în PT ISCIR C 4 [7];

• standardele indică rezistența tehnică de durată (fluaj) $\sigma_d=\sigma_{r/100\,000}=Rr/100\,000$ (valori medii informative de calcul) începînd cu temperatura de calcul de 450°C (inclusiv); în discordanță cu aceasta, PT ISCIR C 4 [7] obligă la prevederea (garantarea) caracteristicii mecanice respective pentru oricare temperatură de calcul care depășește 420°C;

• standardele nu impun — în mod explicit — garantarea pe produs a valorilor rezistenței tehnice de durată $\sigma_d=\sigma_{r/100\,000}=Rr/100\,000$;

• PT ISCIR C 4 [7] impune o dată „prevederea prin norma de produs" (art. 2.2.3) și altă dată „garantarea de către producător" (art. 2.3.3) a rezistenței tehnice de durată (fluaj), ceea ce implică arbitrarul, pe de o parte și nu este într-un acord deplin cu prevederile standardelor, pe de altă parte;

• standardele STAS 8184-87 și STAS 1097/2-86 admit echivalența mărcilor de oțeluri 14 CrMo 4 și 14 MoCr 10;

• potrivit standardelor indigene, oțelurile în discuție sînt utilizabile în exploatarea industrial-tehnologică în regim de lungă durată la presiuni înalte și temperaturi ridicate (de pînă la 560°C inclusiv);

• la temperatura de calcul egală cu 500°C, limita tehnică de curgere $\sigma_c=R_{p\,0,2}$ indicată în STAS 2883/3-80, față de cea din STAS 8184-87, este *mai mare:* cu 7,43% pentru $s\leqslant 40$ mm și cu 4,24% pentru $s>40$ mm (tabelul 9.1);

• la temperaturile de calcul de 540...560°C, valorile indicate — în standardele citate — pentru rezistența tehnică de durată (fluaj) $\sigma_d=Rr/100\,000$ sînt, practic și efectiv, *identice* (tabelul 9.1);

• la temperatura de calcul egală cu 499°C→500°C, rezistența tehnică de durată $\sigma_d=Rr/100\,000$ indicată în STAS 2883/3-80, față de cea din STAS 8184-87, este mai mare cu 6,20% (tabelul 9.1);

• valorile de proiectare ale caracteristicilor mecanice de calcul $\sigma_c=R_{p\,0,2}$ și $\sigma_d=Rr/100\,000$ sînt, evident, cele corespunzătoare tablelor, respectiv standardului încă neactualizat STAS 2883/3-80.

Unele caracteristici mecanice de calcul $\sigma_{calc}=(\sigma_r,\ \sigma_c)$, determinate experimental pentru temperaturile (de încercare) de 530°C și de 550°C, se regăsesc în tabelul 9.2.

2. Considerații teoretico-experimentale fundamentale

Echivalențe. Adoptîndu-se criteriul de corespondență al compoziției chimice, din tabelul 9.3 rezultă următoarele *oțeluri străine* echivalente cu cele indigene 14 CrMo 4 și 14 MoCr 10: 12HM și 15HM (oțeluri sovie-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2. **Caracteristici mecanice determinate experimental***
(şarja nr. 41-410172, oţel 14 CrMo 4-4b, table cu grosimea $s=50$ mm)

Temperatura de încercare, în °C	Proba nr.	Rezistenţa de rupere $\sigma_r = R_m$, în N/mm²	Limita tehnică de curgere $\sigma_c = R_{p\,0,2}$ în N/mm²
530	1	366	175
	2	357	175
	3	370	175
550	1	353	171
	2	350	172
	3	354	172

* Buletin de examinare nr. 632/16.III.1989, emis de către I.U.C. „Griviţa Roşie" — Serv. CTC — Laboratoare, Bucureşti.

Tabelul 9.3. **Corespondenţe din punctul**

Nr. crt.	Sursa	Ţara	Norma	Marca oţelului	C
1	[2]	România	STAS 8184-80 STAS 2883/3-80	14 CrMo 4	0,10 ... 0,18
2	STAS		STAS 8184-87	14 MoCr 10	0,10 ... 0,18
3	STAS		STAS 2883/3-80	14 CrMo 4	⩽0,18
4	[1]	U.R.S.S.	[1]	12 HM	⩽0,16
5	[6]		TU 14-1-642-73		⩽0,16
6	[6]		GOST 5759-61		⩽0,16
7	[6]		GOST 4543-71	15 HM	0,11 ... 0,18
8	[6]	S.U.A.	ASTM	A 387-B	⩽0,17
9			ASTM	A 387-C	⩽0,17
10			ASTM	A 182-F 11	0,10 ... 0,20
11			ASTM	A 336-F 2	0,10 ... 0,20
12	[6]	Anglia	ASTM	620 A	⩽0,15
13	[6]		BS 1501-58	620 B	⩽0,15
14	[3]	S.U.A.	BS 1501-58	A 387-A	⩽0,21
15	[6]	R.F.G.	DIN 17 175	13 CrMo 44	0,10 ... 0,18
16	[5]		[5] (DIN-uri)		0,10 ... 0,18
17	[5]		Ruhrstahl A.G.		0,10 ... 0,18
18	[6]	R.D.G.	TGL 14 507	13 CrMo 44	0,10 ... 0,18

Scanned with OKEN Scanner

tice); A 387-B, C, A; A 182-F 11 și A 336-F2 (oțeluri nordamericane); 620 A, B (oțeluri britanice); 13 CrMo 44 (oțeluri germane).

Caracteristici mecanice. Pentru oțelurile echivalente, valorile caracteristicilor mecanice care interesează sînt sintetizate în tabelul 9.4, rezultînd (v. și tabelul 9.5)

— limita tehnică de curgere $\sigma_c=\sigma_{0,2}=R_{p\,0,2}$ are valori normate de cele mai multe ori pînă la 500°C și în unele situații particulare chiar pînă la 815°C; la 500°C, valorile respective *credibile* se înscriu în intervalul 165 ... 264 N/mm² (care, deci, include — spre limita sa inferioară — și valoarea *de proiectare* egală cu 188 N/mm²);

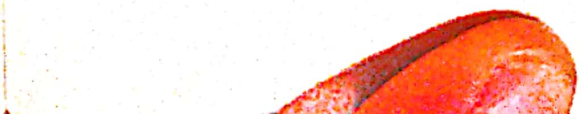
— rezistența de rupere (la cald) $\sigma_r=R_m$ are valori prescrise numai în unele surse (U.R.S.S., S.U.A.) — la temperaturi de pînă la 600 ... 815°C;

— valorile *minime* σ_c și σ_r, determinate experimental pentru oțelul 14 CrMo 4, sînt următoarele (tabelul 9.2):

$\sigma_c=R_{p\,0,2}=175$ N/mm² } la 530°C; $\sigma_c=R_{p\,0,2}=171$ N/mm² } la 550°C
$\sigma_r=R_m=357$ N/mm² $\sigma_r=R_m=350$ N/mm²

de vedere al compoziției chimice

Compoziția chimică, în %					
Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0,40 ... 0,80	0,15 ... 0,35	⩽0,040	⩽0,040	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,70	0,15 ... 0,35	⩽0,035	⩽0,035	0,70 ... 1,10	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,80	0,15 ... 0,35	⩽0,040	⩽0,040	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,60
0,40 ... 0,70	0,17 ... 0,37	⩽0,040	⩽0,040	0,80 ... 1,10	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,70	0,17 ... 0,37	—	—	0,80 ... 1,10	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,70	0,17 ... 0,37	⩽0,040	⩽0,040	0,80 ... 1,10	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,70	0,17 ... 0,37	—	—	0,40 ... 1,00	0,40 ... 0,55
0,40 ... 0,65	0,17 ... 0,37	—	—	0,80 ... 1,15	0,45 ... 0,65
0,40 ... 0,65	0,50 ... 1,00	—	—	1,00 ... 1,50	0,45 ... 0,65
0,30 ... 0,80	0,10 ... 0,60	—	—	0,80 ... 1,20	0,44 ... 0,65
0,30 ... 0,70	0,10 ... 0,60	—	—	0,80 ... 1,10	0,44 ... 0,65
0,40 ... 0,70	0,10 ... 0,30	—	—	0,45 ... 0,75	0,45 ... 0,65
0,40 ... 0,70	0,10 ... 0,30	—	—	0,70 ... 1,00	0,45 ... 0,65
0,40 ... 0,80	0,10 ... 0,30	—	—	0,50 ... 0,80	0,45 ... 0,65
0,40 ... 0,70	0,15 ... 0,35	—	—	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,50
0,40 ... 0,70	0,15 ... 0,35	⩽0,040	⩽0,040	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,50
0,40 ... 0,70	0,15 ... 0,35	⩽0,040	⩽0,040	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,50
0,40 ... 0,70	0,17 ... 0,37	—	—	0,70 ... 1,00	0,40 ... 0,50



Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.4. **Caracteristicile**

Nr. crt. în tabelul 9.3	Temperatura											
	450	460	470	475	480	482	490	500	510	520	530	540
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Limita tehnică de curgere												
1	199	—	—	—	—	—	—	188 172	—	—	—	—
2	180 170	—	—	—	—	—	—	175 165	—	—	—	—
3	199	—	—	—	—	—	—	188 172	—	—	—	—
STAS 1097/2-86	130	—	—	—	—	—	—	(120)	—	—	—	—
4	245	—	—	—	—	—	—	264	—	—	—	—
6	245	—	—	—	—	—	—	264	—	—	—	—
7	195	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	187	—	—	—	—	—	—
16	196	—	—	—	—	—	—	176	—	—	—	—
17	196	—	—	186	—	—	—	166	—	—	—	—
Rezistența de rupere												
4	480	—	—	—	—	—	—	441	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	440	—	—	—	—	—	—

Scanned with OKEN Scanner

metalului, în °C

550	560	570	575	580	590	593	600	650	700	704	750	Obs.
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\sigma_c = \sigma_{0,2} = R_{p\,0,2}$, în N/mm² (MPa)												
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
245	—	—	—	—	—	—	240	—	—	—	—	—
245	—	—	—	—	—	—	240	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	—	—	—	—	—	—	120	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	151	—	—	—	72	—	Oxidare la 585°C
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\sigma_r = R_m$, în N/mm² (MPa)												
411	—	—	—	—	—	—	304	—	—	—	—	—
350	—	—	—	—	—	—	280	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	306	—	—	—	137	—	Oxidare la 585°C

Scanned with OKEN Scanner

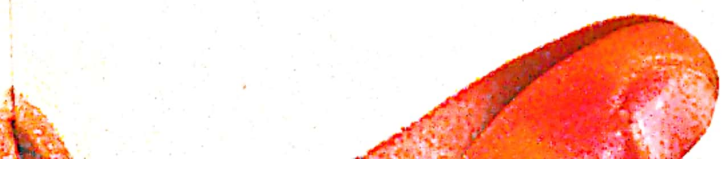
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Limita tehnică de fluaj $\sigma_f = \sigma_{1/100\,000} =$												
2	191	171	151	—	133	—	115	98	83	69	56	46
4	—	—	—	98	—	—	—	78	—	—	—	—
6	—	—	—	98	—	—	—	78	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	103	—	—	—	—	—	44
16	196	—	—	—	—	—	—	117	100	—	—	—
Rezistența tehnică de durată (fluaj)												
1	283	—	—	200	—	—	—	133	—	—	—	—
2	272	242	206	—	177	—	150	129	109	94	77	60
3	241	213	186	—	161	—	138	116	98	79	65	51
4	235	—	—	176	—	—	—	107 142	—	—	—	—
6	235	—	—	176	—	—	—	107 142	—	—	—	—
7	—	—	—	190	—	—	—	155	—	—	(110)	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	264	—	—	—	—	—	—	166	140	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	166	—	—	(98)	—
Rezistența admisibilă												
6	—	105	—	—	102	—	—	82	70	58	49	40
6	95	—	—	88	—	—	—	78	—	—	(55)	43
7	103	—	—	98	—	—	—	84	—	—	(63)	50
7	—	110	—	—	107	—	—	88	76	66	58	50
16, 17	130	—	—	—	—	—	—	110	—	(65)	—	46

Notă: σ_{am} reprezintă așa-numita (în U.R.S.S.) rezistență admisibilă normată.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.4 (continuare)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$=R$ 1/100 000, în N/mm² (MPa)												
36	30	(24)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	18	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	16	—	6	—	—	—	Oxidare la 585°C
36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\sigma_d = \sigma_{r/100\,000} = Rr/100\,000$, în N/mm² (MPa)												
50	—	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49	40	(33)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	34	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51 68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51 68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	18	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
σ_a în N/mm² (MPa)												
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Valori σ_{an}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	36	(29)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Valori σ_{an}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Scanned with OKEN Scanner

și se înscriu în intervalul valorilor consemnate — la 550°C — în tabelul 9.4;

— limita tehnică de fluaj $\sigma_f = \sigma_{1/100\,000} = R$ 1/100 000 are valori normate pînă la 550°C, de regulă și pînă la 570°C (STAS) sau chiar pînă la 650°C, în unele cazuri aparte (S.U.A.);

— rezistența tehnică de durată (fluaj) $\sigma_d = \sigma_{r/100\,000} = Rr/100\,000$ are valori normate pînă la 550°C, de regulă și pînă la 570°C (STAS) sau chiar pînă la 600°C (S.U.A.), în situații determinate; valorile respective se înscriu în intervalele:

107 ... 166 N/mm² — la 500°C;
41 ... 75 N/mm² — la 550°C,

care includ — spre limita lor inferioară — valorile *de proiectare* egale cu 137 N/mm² (499°C) și, corespunzător, 57 N/mm² (543,3°C);

— rezistența admisibilă normată (U.R.S.S., R.F.G.) σ_a are valori prescrise pînă la 550 ... 560 (570)°C), acestea înscriindu-se în intervalele:

78 ... 110 N/mm² — la 500°C;
29 ... 43 N/mm² — la 550°C;
40 ... 50 N/mm² — la 540°C,

care includ — în zona lor mijlocie — valorile *de proiectare* egale cu 91 N/mm² (499°C) și, respectiv, 38 N/mm² (543,3°C).

Temperaturi caracteristice. În afară de temperaturile caracteristice evidențiate anterior, pînă la care se prescriu caracteristicile mecanice (tabelele 9.4 și 9.5), se mai evidențiază următoarele (tabelul 9.5):

— temperatura de oxidare→585°C ⩾ 550°C;

Tabelul 9.5. **Temperaturile caracteristice**

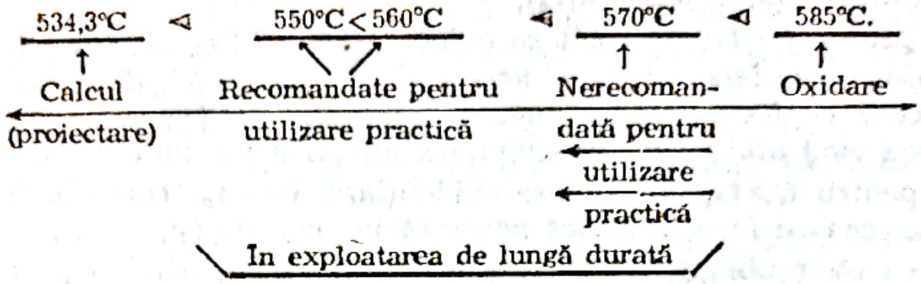
Nr. crt. în tabelul 9.3	Temperatura maximă, în °C							Temperatura de oxidare, în °C
	Pînă la care se prescriu caracteristicile mecanice (tabelul 9.4)					Recomandată pentru utilizarea practică		
	σ_o	$\sigma_a(\sigma_{an})$	σ_r	σ_f	σ_d	Table	Țevi	
1	500	—	—	—	570	540	540	—
2	500	—	—	560(570)	560(570)	—	560	—
3	500	—	—	—	560(570)	—	—	—
2 , 3 STAS 1097/2-86	500	—	—	—	—	Elemente forjate	Elemente forjate	—
4	600	—	600	550	550	560	—	—
6	600	540 550	600	550	550	560	—	—
7	450	540 570(?)	—	—	550	—	—	—
11	600	—	600	600	600	—	—	—
14	815	—	815	648	—	—	—	585
16	500	540	—	550	550	—	580	—
17	500	540	—	575	575	—	—	—

Scanned with OKEN Scanner

— temperatura recomandată pentru utilizarea practică: 540°C (STAS încă neactualizat) și 560°C (U.R.S.S.), pentru *table*, respectiv 560°C (STAS actualizat) și 580°C (R.F.G.), pentru *țevi*, fiind neprecizată ca atare pentru *elemente forjate*;

— temperatura la care oțelul 14 CrMo 4 nu trebuie să fie utilizat — conform STAS 2883/3-80, anexa *B* — în exploatarea de lungă durată este de 570°C, în același sens nefiind restrictivă temperatura de 560°C;

— temperatura *maximă* de calcul (proiectare mecanică) este:



Caracteristici mecanice de calcul. Dată fiind egalitatea coeficienților de siguranță $c_c \rightarrow$față de limita tehnică de curgere și $c_d \rightarrow$față de rezistența tehnică de durată (fluaj), respectiv $c_c = c_d = 1{,}50$, în fig. 9.1 și tabelul 9.1 se compară și se confruntă caracteristicile mecanice de calcul $\sigma_{calc} = (\sigma_c, \sigma_d) = (R_{p\,0,2}, Rr/100\,000)$, la temperaturi ridicate, reținute ca atare

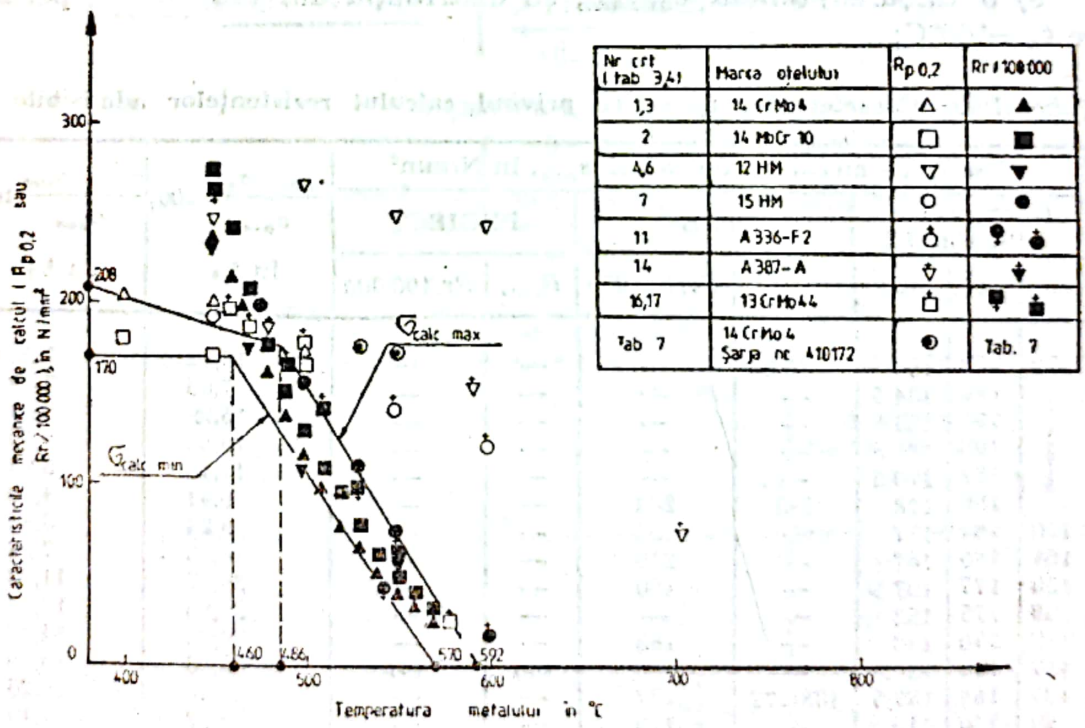


Fig. 9.2. Sinteză caracteristicilor mecanice de calcul, standardizate, normate sau determinate experimental, pentru oțelurile crom-molibden echivalente de tip 1,0-0,5.

conform standardelor indigene (STAS), iar în fig. 9.2 se ilustrează confruntarea grafică a acelorași caracteristici mecanice de calcul, de asemenea la temperaturi ridicate, însă având valorile sintetizate — conform simbolizărilor din tabelul 9.3 — în tabelul 9.4.

Scanned with OKEN Scanner

Notînd cu t_c — temperatura de calcul (proiectare mecanică) a metalului pus în operă, în °C, rezultă (fig. 9.1):

a) pentru $t_c = t_A \in [480; 485]$°C, evident, $\sigma_{calc} = \sigma_c = \sigma_d \in [193; 180]$ N/mm² — în cazul tablelor, respectiv pentru $t_c = t_A \in [485; 490]$°C, de asemenea evident, $\sigma_{calc} = \sigma_c = \sigma_d = [176; 166]$ N/mm² — în cazul țevilor; ca urmare, în asemenea circumstanțe, este *neapărat necesară* impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) numai a uneia dintre cele două caracteristici mecanice → fie $\sigma_c = R_{p\,0,2}$, fie $\sigma_d = \sigma_{r/100\,000} = Rr/100\,000$, bineînțeles, la temperaturile precizate ($t_c = t_A$);

b) pentru $t_c < t_A$, întrucît se evidențiază $\sigma_c < \sigma_d$, corespunde $\sigma_{calc} = \sigma_c < \sigma_d$, ceea ce face *neapărat necesară* impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie și singulară numai a mărimii $\sigma_c = R_{p\,0,2}$;

c) pentru $t_c > t_A$, întrucît se evidențiază $\sigma_d < \sigma_c$, corespunde $\sigma_{calc} = \sigma_d < \sigma_c$, ceea ce face *neapărat necesară* impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie și singulară numai a mărimii $\sigma_d = \sigma_{r/100\,000} = Rr/100\,000$.

Din fig. 9.2 rezultă (pentru domeniul acoperit de datele din tabelele 9.2 și 9.4):

d) o valoare *maximă* $\sigma_{calc\,max}$, cu distribuția din tabelul 9.6, pentru care $t_A = 486$°C;

e) o valoare *minimă* $\sigma_{calc\,min}$, cu distribuția din tabelul 9.6, pentru care $t_A = 460$°C;

Tabelul 9.6. **Caracteristici mecanice privind calculul rezistențelor admisibile**

Temperatura, în °C	Tensiunea mecanică de calcul σ_{calc}, în N/mm²							$\frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{\sigma_{min}} 100$, în %	$\frac{\sigma_{max}-\sigma_{med}}{\sigma_{max}} 100$, în %
	Nomograma din fig. 9.2			STAS		PROIECT			
	min.	max.	med.	$R_{p\,0,2}$	$Rr/100\,000$	$R_{p\,0,2}$	$Rr/100\,000$		
400	170	202	186	203/109	—	—	—	18,82	7,92
410	↓	199	184,5	—	—	—	—	17,06	7,29
420		196	183	—	—	—	—	15,29	6,63
430		193	181,5	—	—	—	—	13,53	5,96
440		189	179,5	—	—	—	—	11,18	5,03
450		186	178	199	284	—	—	9,41	4,30
460	170	184	177	—	251	—	—	8,24	3,80
470	154	180	167	—	219	—	—	16,88	7,22
480	138	177	157,5	—	190	—	—	28,26	11,02
486	129	175	152	—	—	—	—	35,66	13,14
490	122	170	146	—	163	—	—	39,34	14,12
499	107	154	130,5	—	—	188	137	43,93	15,26
500	107	154	130,5	188/172	137	—	—	43,93	15,26
510	92	140	116	—	116	—	—	52,17	17,14
520	77	121	99	—	94	—	—	57,14	18,18
530	62	107	84,5	(175*)	77	(175*)	—	72,58	21,03
540	46	87	66,5	—	61	—	—	89,13	23,56
543,3	41	81	61	—	—	—	57	97,56	24,69
550	30	73	51,5	(171*)	49	(171*)	—	143,33	29,45
560	14	54	34	—	40	—	—	285,71	35,19

* Valori experimentale minime (tabelul 9.2).

Scanned with OKEN Scanner

f) o valoare *medie aritmetică:*

$$\sigma_{calc\ med}=\frac{1}{2}(\sigma_{calc\ max}+\sigma_{calc\ min}),$$

cu distribuția din tabelul 9.6, pentru care, evident, $t_A\in[460; 486]$°C, respectiv t_A=circa 470°C.

Generalizînd, se poate admite (într-o manieră extrem de acoperitoare):

$$t_A\in[460; 490]°C<t_c=(499; 543{,}3)°C,$$

ceea ce face *superfluă* impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie — pentru condițiile nominalizate — a limitei tehnice de curgere $\sigma_c^{t_c}=R_{p\,0,2}^{t_c}$ și, totodată, *neapărat necesară* impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie și singulară a rezistenței tehnice de durată (fluaj) $\sigma_d^{t_c}=\sigma_{r\,/100\,000}^{t_c}=Rr^{t_c}/100\,000$, de asemenea pentru condițiile nominalizate.

Evaluîndu-se parametrul Larson-Miller PLM pentru valorile standardizate $\sigma_d=Rr/100\,000$, corespunzătoare oțelului 14 CrMo 4 (tabelul 9.7), s-a construit graficul din fig. 9.3, după care, în graficul respectiv, s-au transpus — pentru comparație directă — valorile $\sigma_{calc\ med}$ din tabelul 9.6. Rezultă:

a) *pentru* $t_c=499$°C:

$\sigma_{calc\ med}=130{,}5$ N/mm² → <139 N/mm² → (−6,51%);
$\underleftarrow{(85\%)}$ >118 N/mm² → (+10,59%);

b) *pentru* $t_c=543{,}3$°C:

$\sigma_{calc\ med}=61{,}0$ N/mm² → >57 N/mm² → (+7,02%);
$\underleftarrow{(85\%)}$ $\geqslant 48$ N/mm² → (+27,08%).

Tabelul 9.7. **Parametrul Larson-Miller pentru oțelul 14 CrMo 4**

Temperatura metalului t, în °C	Rezistența tehnică de durată $\sigma_d=Rr/100\,000$, în N/mm² (MPa)		Parametrul Larson-Miller PLM
	100%	85%	
490	163	138	19 075
499	139*	118	19 300
500	137	116	19 325
510	116	98	19 575
520	94	80	19 825
530	77	65	20 075
540	61	52	20 325
543,3	57*	48	20 407,5
550	49	41	20 575
560	40	34	20 825

* Valorile obținute din nomograma redată în figura 9.3 (curba STAS).

Datele tabelului: $PLM=T\,(20+\lg\tau_r)$; $T=273+t$, [K]; $\tau_r=100\,000$ h; $C=20$ [4].

Scanned with OKEN Scanner

Aşadar, valorile $\sigma_{calc\ med}$ (tabelul 9.6 şi fig. 9.3) se acordează cu cele $\sigma_{calc}=Rr/100\,000$ de proiectare mecanică în limitele unei benzi de dispersie de [—6,51%; +7,02%], ceea ce este *mai mult decît satisfăcător*, dacă se are în vedere că valorile în discuţie $\sigma_{calc\ med}$ sînt *valori de prognoză* (v. fig. 9.2 şi tabelul 9.6).

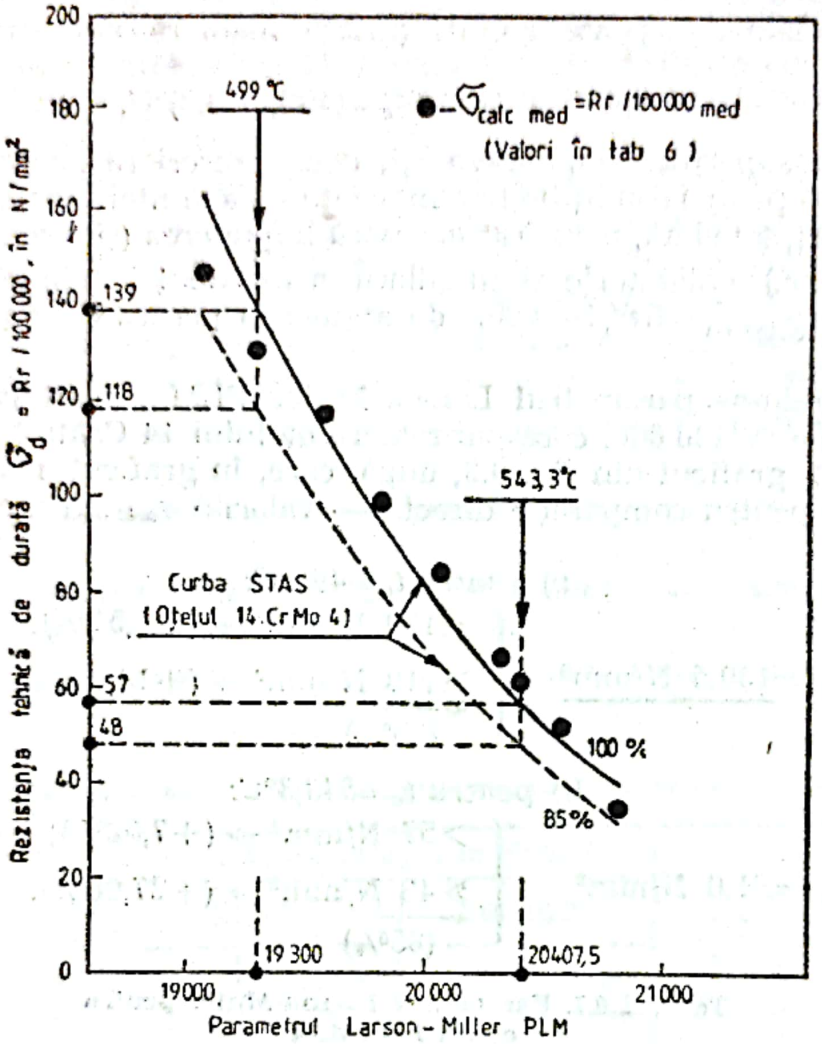


Fig. 9.3. Dependenţa de parametrul Larson-Miller a rezistenţei tehnice de durată.

Prin urmare:

min. $\sigma^{499}_{calc\ med}=130{,}5$ N/mm²; max. $\sigma^{499}_{calc\ med}=139{,}0$ N/mm²;

min. $\sigma^{543{,}3}_{calc\ med}=57{,}0$ N/mm²; max. $\sigma^{543{,}3}_{calc\ med}=61{,}0$ N/mm².

Rezistenţa admisibilă. Pentru domeniul de temperatură dat — $t_c=(499;\ 543{,}3)°C>450°C$ [5] —, rezistenţa (tensiunea mecanică) admisibilă $f_a\equiv\sigma_a$ are următoarea expresie de calcul generală:

$$\sigma_a=\frac{\sigma_{calc}}{c}=\min\ (\sigma'_a,\ \sigma''_a)=\min\left(\frac{\sigma^{t_c}_c}{c_c},\ \frac{\sigma^{t_c}_d}{c_d}\right),$$

în care: $\sigma'_a=\dfrac{\sigma^{t_c}_c}{c_c}$; $\sigma''_a=\dfrac{\sigma^{t_c}_d}{c_d}$, rezultînd: $\bar{\sigma}_a=\dfrac{\sigma'_a}{\sigma''_a}=\dfrac{c_d\sigma^{t_c}_c}{c_c\sigma^{t_c}_d}$,

Scanned with OKEN Scanner

c reprezentînd așa-numitul coeficient global de siguranță, care este o *constantă* (c_c sau c_d), iar $\sigma_{calc} \rightarrow (\sigma_c, \sigma_d)$ evoluînd cu temperatura potrivit dependențelor evidențiate în fig. 9.1 și 9.2, de asemenea în fig. 9.4; generalizarea acestor din urmă dependențe se ilustrează în fig. 9.5.

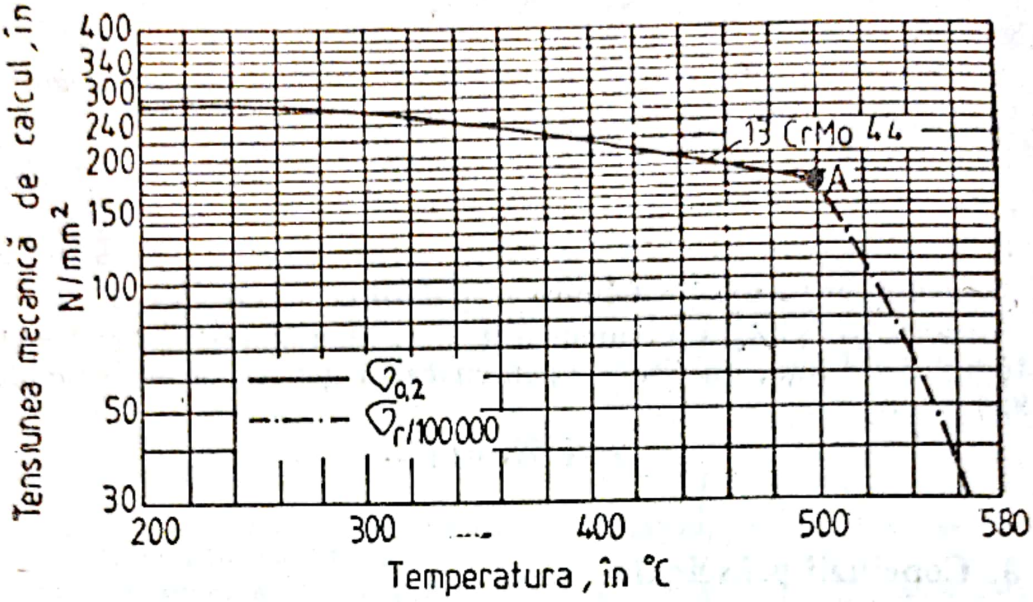


Fig. 9.4. Tensiunea mecanică de calcul $\sigma_{calc}=(\sigma_{0,2}, \sigma_{r/100\,000}$ pentru oțelul german 13 CrMo 4 4 [5].

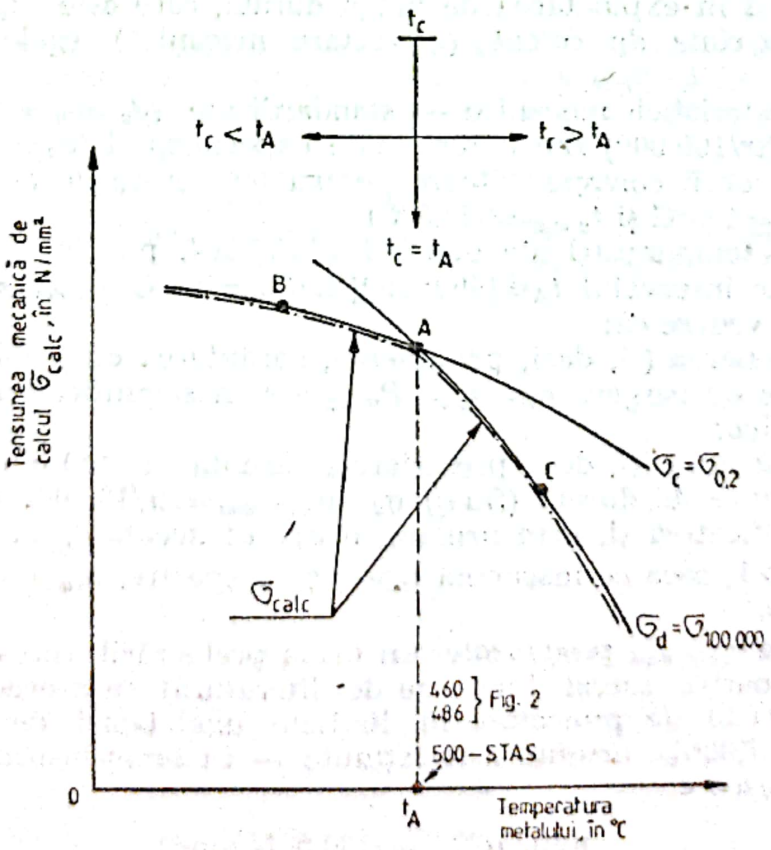


Fig. 9.5. Diagrama tipică privind nominalizarea tensiunii mecanice de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru cazul de față — de altfel, caz general conform PT ISCIR C 4-83 [7] — corespunde alternativa $c_c \equiv c_d \equiv 1{,}50$ și se obține:

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\sigma'_a}{\sigma''_a} = \frac{\sigma^{t'_c}}{\sigma^{t'_c}_d},$$

rezultînd alternativele:

1) $\bar{\sigma}_a = 1 \rightarrow$ punctul A în fig. 9.5, pentru care $t_c = t_A$, respectiv $\sigma'_a \equiv \sigma''_a$, putîndu-se admite fie $\sigma_{calc} = \sigma^{t'_c}_c$, fie $\sigma_{calc} = \sigma^{t'_c}_d$;

2) $\bar{\sigma}_a < 1 \rightarrow$ punctul B în fig. 9.5, pentru care $t_c < t_A$, respectiv $\sigma'_a < \sigma''_a$, impunîndu-se soluția tehnică *singulară* cu $\sigma_{calc} = \sigma^{t'_c}_c < \sigma^{t'_c}_d$;

3) $\bar{\sigma}_a > 1 \rightarrow$ punctul C în fig. 9.5, pentru care $t_c > t_A$, respectiv $\sigma'_a > \sigma''_a$, impunîndu-se soluția tehnică *singulară* cu $\sigma_{calc} = \sigma^{t'_c}_d < \sigma^{t'_c}_c$.

Anterior (v. § 2.4), s-a demonstrat că, pentru oțelurile care fac obiectul studiului de față, abscisa — pentru cazul general a — punctului A (fig. 9.5) este:

$$t_A \in [460; 490]^\circ C.$$

3. Concluzii principale

Oțelul 14 CrMo 4 prezintă:

a) o temperatură *maximă* de 550 ... 560°C, recomandată pentru *utilizare practică* în exploatarea de lungă durată, care este *superioară* temperaturii *maxime de calcul* (proiectare mecanică) egale cu 543,3°C ($=t_{c\ max}$);

b) caracteristici mecanice — standardizate ($\sigma_c = \sigma_{0,2} = R_{p\ 0,2}$ și $\sigma_d = \sigma_{/100\ 000} = Rr/100\ 000$) sau determinate experimental ($\sigma_c = \sigma_{0,2} = R_{p\ 0,2}$) — *conforme* și, deci, corespunzătoare pentru temperaturile *de calcul* avute în vedere ($t_c = 499^\circ C$ și $t_{c\ max} = 543{,}3^\circ C$).

Pentru temperaturi ale oțelului 14 CrMo 4, pus în operă ca atare, care depășesc intervalul $t_A \in [460; 490]^\circ C < t_c = 499^\circ C < t_{c\ max} = 543{,}3^\circ C$, trebuie avut în vedere că:

a) impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie a limitei tehnice de curgere $\sigma_c = \sigma_{0,2} = R_{p\ 0,2}$ este nesemnificativă și, prin urmare, *superfluă;*

b) impunerea (și, deci, prescrierea, garantarea etc.) obligatorie a rezistenței tehnice de durată (fluaj) $\sigma_d = \sigma_{r/100\ 000} = Rr/100\ 000$ este determinantă, semnificativă și, prin urmare, *neapărat necesară*, ...

deoarece $\bar{\sigma}_a > 1$, ceea ce înseamnă $t_c > t_A$ și, respectiv, $\sigma_{ca'c} = \sigma_d = \sigma_{r/100\ 000} = Rr/100\ 000$.

Valorile $\sigma_{calc\ med}$ *prognozate* (în urma prelucrării corespunzătoare a datelor normative sau/și furnizate de literatură) se acordează cu cele $\sigma_{ca'c} = Rr/100\ 000$ *de proiectare* în limitele unei benzi de dispersie de [—6,51%; +7,02%], urmînd a fi reținute — ca *semnificative* — valorile extreme *inferioare:*

$$\min.\ \sigma^{499}_{calc\ med} = 130{,}5\ N/mm^2;$$

$$\min.\ \sigma^{543{,}3}_{calc\ med} = 57{,}0\ N/mm^2,$$

Scanned with OKEN Scanner

care *nu implică* modificări dimensionale din punctul de vedere al grosimilor de perete *nominale*.

Experimental (prin încercări de scurtă durată la cald), pentru limita tehnică de curgere au fost obținute următoarele *valori minime:*

$$\sigma_{0,2}^{530} = R_{p\,0,2}^{530} = 175 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_{0,2}^{550} = R_{p\,0,2}^{550} = 171 \text{ N/mm}^2,$$

care, oricum, au semnificație orientativ-informativă, fiind valorificabile ca atare.

BIBLIOGRAFIE

1. Babițki I. F. ș.a. *Rascet i konstruirovanie apparaturî neftepererabatîvaiușcih zavodov.* Moskva, Nedra, 1965, p. 66—71.
2. Cheșa I. *Alegerea și utilizarea oțelurilor.* București, Editura Tehnică, 1984, p. 52, 90 și 474—475, respectiv 22—26.
3. Clauss F. *Engineer's guide to high temperature materials.* Reading-Massachussets, Addison-Wesley Publ. Co., 1969, p. 62—72.
4. Constantinescu A. ș.a. *Fluajul metalelor.* București, Editura Tehnică, 1970, p. 196—198.
5. Pavel A. *Materiale și rezistențe admisibile folosite în construcția de utilaje pentru industria petrolieră prelucrătoare și petrochimică.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1967, p. 88—91, 96—97 și tab. 70—72, 119—124, 125, respectiv fig. 55, 56.
6. Rahmilevici Z.Z. ș.a. *Spravocinik mehanica himiceskih i neftehimiceskih proizvodstv.* Moskva, Himia, 1985, p. 220—222.
7. * * * *Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, instalarea. exploatarea, repararea și verificarea recipientelor metalice stabile sub presiune.* C. 4-83. Colecția ISCIR, Ediție oficială. București, 1984.

Scanned with OKEN Scanner

10

Extinderea utilizării materialelor și tehnologiilor avansate* Note de lectură

Dr. ing. *ALEXANDRU NICA*

A opta conferință a secțiunii europene a „Societății pentru Ingineria Materialelor și Tehnologiilor Avansate" (SAMPE), care a avut loc în anul 1987 în Franța (La Baule), a subliniat perspectivele utilizării în construcția de mașini a unor noi variante de materiale și tehnologii, remarcîndu-se un masiv transfer tehnologic de la industria aerospațială către celelalte ramuri ale construcției de mașini.

1. Progrese privind materialele

Tendințele actuale în dezvoltarea de noi materiale, sau de îmbunătățire a calității celor existente, acoperă toate categoriile de materiale, atît nemetalice, cît și metalice sau structuri complexe care includ metale, ceramice, plastice. Date fiind marile avantaje prezentate de materialele compozite, adică rezistență mecanică ridicată pe direcții preferențiale, rezistență termică și la coroziune, greutate redusă, stabilitate geometrică ș.a., nu poate să surprindă amploarea investițiilor și cercetărilor în acest domeniu.

Se urmărește atît obținerea unor variante cu proprietăți funcționale superioare, cît și dezvoltarea unor tehnologii capabile să reducă costurile, ce se mențin încă ridicate în comparație cu cele de la aliajele metalice.

Principalele direcții de preocupare se pot sintetiza astfel:

a. **Fibre de înaltă rezistență pentru materialele compozite.** Deoarece caracteristicile de rezistență ale compozitelor sînt rezultatul direct al proprietăților fibrei de ranforsare, sînt explicabile preocupările de elaborare a unor fibre cu caracteristici funcționale superioare, inclusiv din punctul de vedere al armonizării rezistenței ridicate cu un modul de elasticitate convenabil, adică problema specifică fibrelor de înaltă rezistență, în special ceramice.

Astfel, se remarcă fibra de carbon Torayca T 1000, cu o rezistență la rupere de circa 7 GPa și un modul de elasticitate longitudinal $E=$ $=300$ GPa; această fibră a fost utilizată pentru obținerea unor compozite cu matrice din rășini epoxidice, avînd rezistența la rupere $\tau_r=1{,}70\ldots$

* „Looking ahead for Materials and Processes", editori J. de Bossu, G. Briens și P. Lissac. Amsterdam, Elsevier, 1987 (nr. 41 al colecției „Monografii de Știința Materialelor").

Scanned with OKEN Scanner

3,50 GPa, modulul de elasticitate E=135 ... 165 GPa și o alungire la rupere δ=1,2 ... 2%.

S-au obținut însă și fibre din materiale nou elaborate, de exemplu din Si-Ti-C-O, cu denumirea comercială de „Tyranno Fiber", obținute prin legături încrucișate ale unor polimeri organometalici, de exemplu polititanocarbosilani, avînd proprietăți de rezistență termică și compatibilitate pentru ranforsarea compozitelor superioare celor caracteristice fibrelor anorganice utilizate pînă în prezent. Principalele proprietăți fizico-mecanice ale acestei noi clase de fibre anorganice se pot sintetiza astfel (pentru un diametru al fibrei între 8 și 12 μm): densitatea: 2,3 ... 2,4 g/cm^3; tensiunea la rupere: 2,8 ... 3 GPa; modulul de elasticitate longitudinal E=200 ... 220 GPa; deformarea la rupere: 1,4 ... 1,5%; coeficientul de dilatare termică: $3{,}1 \cdot 10^{-6}$/°C. Se poate remarca o rezistență mecanică cu valori intermediare între acelea prezentate de către fibrele de carbon (mai ridicate) și fibrele din carbură de siliciu — SiC (mai scăzute). Fibrele Si—Ti—C—O se pot utiliza sub orice formă de țesătură plană sau spațială, în vederea obținerii de materiale compozite. Gama materialelor pentru matrice este foarte largă, rezistența lor termică ridicată permițînd utilizarea în acest scop a materialelor ceramice, iar compatibilitatea față de aluminiu, obținerea de compozite cu matricea din acest metal, deosebit de interesante pentru aplicațiile practice (de ex. pistoane pentru motoarele de autovehicule) și greu de realizat cu alte categorii de fibre (de ex. din SiC) datorită reacțiilor nefavorabile din punct de vedere funcțional dintre acest ultim tip de fibră și aluminiu.

În fine, o altă categorie de fibre ceramice cu înaltă rezistență termică poartă denumirea de „Nextel 440" și conține 70% Al_2O_3, 28% SiO_2 și 2% B_2O_3; această ultimă variantă de nextel își păstrează flexibilitatea pînă la 1 400°C, are o densitate de 3,05 g/cm^3, o rezistență la rupere de 2 GPa și E=190 GPa. Principalele utilizări ale fibrelor sau țesăturilor din acest tip de fibre se referă la domeniul temperaturilor ridicate: izolări termice, transportoare pentru cazane, ecrane pentru flacără etc.

b. **Noi materiale pentru matricea compozitelor.** Deoarece în comportarea materialului compozit matricea intervine cu o pondere deloc neglijabilă, putînd modifica semnificativ proprietățile fibrelor de ranforsare (inclusiv de rezistență), în paralel cu eforturile depuse în vederea ameliorării materialelor pentru fibre, s-a urmărit și elaborarea unor variante superioare și pentru acelea utilizate ca matrice.

Principala servitute a cunoscutelor matrice organice, și anume slaba rezistență la temperatură, ceea ce are ca urmare imposibilitatea utilizării compozitelor respective peste 350°C (decît pentru un timp foarte scurt) indiferent de natura fibrelor, a menținut în atenție materialele organice gen sticlă și pentru matrice; se pot obține astfel compozite cu temperaturi de lucru între 500 și 1 000°C, în funcției de tipul sticlei. Utilizindu-se sticle din borosilicați (cu un conținut redus de oxizi de sodiu și aluminiu), au fost elaborate compozite capabile să-și păstreze proprietățile de rezistență pînă la cel puțin 500°C, în două variante: ranforsate cu fibre de carbon și prezentînd o rezistență la rupere prin încovoiere (în trei puncte) de pînă la 1,3 GPa; ranforsate cu fibre de SiC și prezentînd o rezistență la încovoiere de pînă la 1 GPa. Costul materialului este de trei ori mai redus decît acela al matricelor dintr-un material plastic de calitate, de ex. poliamide, ceea ce lărgește gama aplicațiilor, în special pentru reperele ce trebuie să-și păstreze rigiditatea la temperaturi ridicate, de ex. componente struc-

Scanned with OKEN Scanner

turale pentru rachete. Se prevede o dezvoltare accentuată a compozitelor cu matrice din materiale gen sticlă, deoarece sînt compatabile cu numeroase categorii de fibre, cum ar fi cele din carbon sau carbură de siliciu.

Materialele metalice prezintă noi variante pentru astfel de utilizări, tehnologiile de elaborare acoperind o gamă largă de procedee, de la metalurgia pulberilor, la turnarea în amestecuri de formare fluide, care permit obținerea unor forme complexe, la costuri reduse.

Astfel de metode au condus pînă în prezent la obținerea a două categorii de compozite cu caracteristici funcționale superioare:

— cu matricea din aluminiu, armată cu particule de SiC (pînă la 15% în volum), obținute prin turnare în amestecuri de formare fluide;

— cu matricea din oțel, ranforsată cu carbură de wolfram, elaborate printr-un procedeu original, materialul aflîndu-se în stare semifluidă.

Aceste materiale se remarcă prin foarte bune proprietăți tribologice (în special uzuri reduse) și o bună rezistență la impact.

Cea mai utilizată clasă de materiale pentru matricea compozitelor, rășinile sintetice și în general plasticile, atît termorigide, cît și termoplaste, departe de a fi neglijată în ultima perioadă, s-a bucurat de o deosebită atenție, datorită procedeelor tehnologice simple și ieftine pe care le presupun în obținerea de materiale compozite. Plecîndu-se de la necesitatea obținerii unei matrice cu o bună comportare în mediu cald și umed, la compresiune și oboseală, în condițiile unor valori rezonabile pentru constantele de elasticitate și temperatura de tranziție sticloasă, s-au studiat diverse structuri moleculare și concentrații de constituenți în domeniul rășinilor epoxidice cu temperaturi în jur de 125°C pentru tratamentul termic; adăugarea unei faze de tipul cauciuc a condus la îmbunătățirea tenacității.

O altă categorie de materiale pentru matrice, posibil de utilizat pînă la 300°C ranforsate cu fibre de carbon, se obține prin polimerizarea monomerilor cu ajutorul grupurilor nadimidice; stabilitatea structurală în timpul depozitării este mult îmbunătățită, iar toxicitatea redusă.

O privire de ansamblu asupra diverselor clase de materiale plastice utilizate pentru matricea compozitelor lasă să se întrevadă marea varietate a compozițiilor chimice și structurii acestora.

Termoplastele prezintă un deosebit interes datorită economicității tehnologiilor de elaborare a componentelor, fapt amintit și în prezentarea lucrărilor SAMPE din anul 1985*, în prezent vorbindu-se de „compozite termoplaste avansate“ (ACTP). Principalul avantaj al compozitelor, anizotropia, ridică probleme în cazul pieselor cu forme complicate și variații bruște de secțiune; proprietatea specifică termoplastelor, și anume posibilitatea de utilizare a procedeelor de fabricație în stare moale sau topită, constituie o soluție pentru problema enunțată, iar utilizarea metodelor de proiectare asistate de calculator permite o permanentă optimizare a relațiilor dintre formele componentelor și solicitările la care sînt supuse. În aceste condiții, este normală atenția acordată în prezent termoplastelor, care în contrast cu rășinile termorigide permit aplicarea unor tehnici de fabricație ușor adaptabile la orice formă a piesei, elaborarea unor procese tehnologice flexibile și eficiente, utilizarea unor procedee de formare superplastică, ca rezultat al posibilităților de termoformare.

---

* V. TCM, nr. 6, București, Editura Tehnică, 1989.

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul unor noi tehnologii de impregnare și prin utilizarea unor rășini termoplaste cu calități superioare, s-au obținut compozite cu performanțe ridicate; de ex., banda din nallon 6 ranforsată cu fibra de sticlă prezintă o rezistență la ruperea prin încovoiere de pînă la 1,2 GPa, și ranforsată cu fibre de carbon de pînă la 1,4 GPa. De altfel compozitele din termoplaste (de ex. cetone eter polieterice — PEEK sau sulfide polifenilice) ranforsate cu fibre de carbon se remarcă și printr-o foarte bună rezistență la solicitările dinamice și o tenacitate ridicată.

c. **Noi materiale metalice.** Deoarece duralurile au atins limitele superioare ale performanțelor, singura soluție la îndemîna metalurgiștilor, în vederea stăvilirii pătrunderii compozitelor, a rămas elaborarea unor noi aliaje; au apărut astfel aliajele aluminiu-litiu, capabile să conducă la reduceri ale greutății structurii aeronavelor pînă la 10 . . . 15%. Deși patente pentru astfel de aliaje au fost înregistrate încă din anul 1958, de abia recent au putut fi elaborate șarje industriale, în special prin metalurgia pulberilor, principalele obstacole fiind atracția litiului față de oxigen și dificultatea obținerii unui echilibru stabil Al—Cu—Li—Mg în proporțiile cerute de aliajele performante; se utilizează componente de mare puritate, lipsite de oxizi, elaborarea avînd loc în atmosferă controlată, în cuptoare căptușite cu materiale refractare speciale. Conținutul de litiu (limitat la 3%) scade densitatea materialului (la 2,4) și mărește modulul de elasticitate ($E \approx 90$ GPa); în aceste condiții, se prevede pentru viitorul apropiat ca în construcțiile aeronautice curente aceste aliaje să atingă o pondere de 10%, restul împărțindu-se în mod aproximativ egal între duraluri și materialele compozite.

O altă categorie de materiale metalice cu perspective de utilizare extinsă și în viitor o constituie aliajele de titan; calea urmată în acest ultim caz nu constă din noi combinații chimice, ci din dezvoltarea unor tehnologii capabile să reducă costul, în special prin evitarea operațiunilor de prelucrări mecanice ulterioare, dificil de executat și scumpe. Se remarcă astfel sudarea prin difuzie (ca rezultat al aplicării concomitente a unor presiuni și temperaturi adecvate) care, combinată cu formarea superplastică (aliajele de titan, în anumite configurații metalografice și condiții de temperatură și solicitări, prezintă deformații de pînă la 1 000%) conduce la procesul tehnologic cunoscut sub inițialele SPFDB (*superplastic forming and diffusion bonding*). Prin acest procedeu se pot obține direct ansamble cu porțiuni concave sau convexe sudate pe suporții respectivi, de ex. bordurile de atac mobile ale avioanelor franceze „Mirage 2000“ și „Rafale“.

2. Progrese privind tehnologiile

Fără a se putea stabili o linie rigidă de demarcație între tehnologiile de elaborare a materialelor (respectiv componente în cazul compozitelor și, după cum s-a remarcat mai înainte, și în cazul anumitor aliaje metalice), se remarcă și o serie de procedee tehnologice noi sau îmbunătățite, care pot fi aplicate pentru game largi de materiale și cerințe. Unele dintre acestea sînt specifice componentelor din compozite, iar altele prezintă un caracter mai general și posibilități de transfer către numeroase ramuri ale construcției de mașini.

Scanned with OKEN Scanner

a. **Tehnologii specifice materialelor compozite.** Apariția unor noi categorii de fibre, cu caracteristici funcționale îmbunătățite, referitoare fie la tenacitate crescută (fibre HT), fie la deformabilitate ameliorată (fibre HS), a condus și la căutarea unor soluții noi privitoare și la restul factorilor ce afectează calitatea și comportarea compozitului, adică modul de țesere a fibrelor, rășinile utilizate, parametrii tratamentelor termice etc.

Studiul sistematic al influenței modului de țesere asupra caracteristicilor funcționale prezentate de materialul compozit a scos în evidență avantajele prezentate de varianta satin 5H utilizată în cazul noilor fibre de carbon cu rezistență ridicată (de ex. Toray T400H); în prezent se examinează caracteristicile prezentate de fibra T800H în varianta 12K, în vederea utilizării la reversoarele de jet.

Soluții noi sînt semnalate și pentru alți parametri tehnologici; astfel, plecîndu-se de la necesitatea utilizării unor materiale economice pentru calapoadele necesare primelor faze de elaborare a campozitelor, s-au elaborat prepreguri capabile să îmbine în mod armonios proprietăți aparent contradictorii, și anume posibilitatea unui tratament termic inițial de joasă temperatură (sub 100°C), deși în final compozitul rezultat va fi utilizat la temperaturi foarte ridicate. Un alt parametru tehnologic, care a fost studiat sistematic, se referă la gradul de impregnare optim, astfel ca să fie evitată porozitatea produsă de aerul captat în timpul operațiunii sau de substanțele volatile. Alte soluții se referă la adezivii utilizați, substanțele și metodele de producție împotriva acțiunii umidității (este cunoscută sensibilitatea compozitelor față de acest factor de coroziune), a substanțelor abrazive, a diverselor influențe negative în timpul manipulării, transportului etc.

b. **Noi soluții tehnologice interesînd întreaga ramură a construcției de mașini.** Sînt numeroase cazurile în care concepte și procedee tehnologice aplicate în domeniul aerospațial au cunoscut o rapidă și largă utilizare și în alte ramuri industriale, în primul rînd în industria construcțiilor de mașini. În prezent, în această situație se află (datorită și extinderii utilizării noilor materiale, inclusiv compozite) metodele computerizate privind integrarea dintre activitățile de proiectare, asigurare a calității, fabricație, în paralel cu o accentuată robotizare a diverselor faze și operațiuni.

Plecîndu-se astfel de la imposibilitatea concilierii, în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii, a eficienței cu universalitatea, se impune necesitatea elaborării unor mijloace tehnologice bazate pe integrare și automatizare, specializate pe categorii de produse.

În acest sens, este de semnalat conceptul PAOMAD (programarea asistată de calculator a mașinilor pentru debitarea benzilor) elaborat la „Aerospatiale" și care constituie o componentă de software foarte eficientă în fabricația reperelor din compozite, date fiind numeroasele componente elementare care trebuie combinate în vederea obținerii de piese, subansamble și ansamble; de ex. programele pentru spoilerele de la aeronava Airbus, chesoane de aripi pentru aeronava ATR72 și ampenajul vertical pentru Mirage 2000.

Acest salt tehnologic major urmărește creșterea capacității de adaptare a utilajului la noi cerințe de producție, atît cantitative, cît și calitative, și se bazează pe integrarea activităților computerizate, începînd cu proiectarea, continuînd cu pregătirea fabricației și asigurarea calității proceselor de producție, și terminînd cu operațiunile de revizie și întreținere a produselor comercializate. Diversele etape sînt concepute pentru a fi rea-

Scanned with OKEN Scanner

lizate prin mijloace automatizate (sau cel puțin asistate de calculator) și perfect integrate între ele. În acest mod, o modificare în proiectul inițial de ex., este imediat luată în considerare, adaptările necesare putînd fi executate pe toată scara proceselor într-un timp extrem de scurt. De o mare utilitate în acest scop se dovedește a fi conceptul de tehnologii grupate, integrate pentru toate etapele amintite, pe familii de repere, înrudirea constînd din utilizarea de tehnologii identice sau foarte apropiate (de ex. componente din materiale compozite elaborate prin procedee tehnologice care implică aceleași operațiuni, iar parametrii funcționali prezintă diferențe între limite foarte strînse).

Activitățile de control nedistructiv, care în industria aerospațială au o pondere foarte mare în ansamblul operațiunilor tehnologice și ocupă un procent semnificativ din totalul executanților, sînt continuate și în perioada de exploatare a produselor finite. Dacă metodele dezvoltate pentru componentele metalice au atins în prezent un grad satisfăcător de automatizare și chiar de robotizare, nu același lucru se poate afirma despre compozite, pentru care problema este rezolvată doar pentru suprafețele plane, sau cu raze foarte mari de curbură. O soluție eficientă și pentru restul cazurilor constă din utilizarea unui sistem de control asistat de microprocesoare capabile să evalueze parametrii fizici investigați și să furnizeze o dare de seamă imprimată și interpretată a rezultatelor controlului. Procedeul denumit SIAM (sistem de inspecție asistat de microprocesor) și-a dovedit utilitatea, reducînd la o zecime timpul de control necesar procedeelor pur manuale, iar costul fiind mult mai redus față de acela al sistemelor în întregime automatizate și robotizate; poate astfel constitui un exemplu de compromis rezonabil și cu mare eficiență economică, între procedeele manuale și acelea automatizate. Pe de altă parte, există situații în care automatizarea completată de roboți se poate dovedi eficientă tehnologic și rentabilă din punct de vedere economic; de obicei, astfel de situații corespund operațiunilor de mare precizie și complexitate, dificil de executat manual și cu mari șanse de a se comite erori. Un exemplu în acest sens îl constituie robotizarea operațiunilor de asamblare a cupolelor radar pentru diverse aeronave (ultima fiind „Mirage 2000") de către departamentul „Aeronautics" de la DCAN-Toulon; s-a reușit reducerea la jumătate a timpului afectat acestor operațiuni și la o treime a personalului executant necesar.

3. Exemple specifice de utilizare a materialelor și tehnologiilor avansate

Dezvoltate în primul rînd pentru necesitățile industriei aerospațiale (este semnificativă examinarea în continuare a unor aplicații și din acest domeniu), noile materiale și tehnologii își găsesc, după cum se va putea remarca din exemplele ce vor urma, un larg cîmp de utilizări în numeroase și variate ramuri ale construcției de mașini, utilaje și bunuri de larg consum.

a. **Construcțiile aerospațiale.** Pe lîngă exemplele deja amintite, legate de dezvoltarea unor noi materiale și tehnologii, sînt de semnalat și alte soluții elaborate în scopul rezolvării unor probleme specifice navelor

Scanned with OKEN Scanner

aero-spațiale, dar care și ele la rîndul lor își pot găsi aplicabilitate și în alte sectoare ale construcției de mașini.

Un progres remarcabil privind posibilitățile de *utilizare a compozitelor pentru construcția pieselor de mare rezistență* îl constituie realizarea lonjeronului principal pentru ampenajul vertical al aeronavelor Airbus (seriile A 310 și A 320) din compozite armate cu fibre de carbon. În acest scop a fost elaborată o tehnologie originală, în întregime automatizată, și care poate constitui un model pentru fabricarea de componente asemănătoare. Ampenajul vertical realizat în acest mod este cu 23% mai ușor decît varianta metalică fabricată prin metodele convenționale, comportă doar 10% din numărul pieselor primare necesare pentru varianta convențională și rezistă mult mai bine la coroziune.

O problemă care a făcut obiectul unor reglementări ale federațiilor aeronautice privind securitatea pasagerilor, dar care se poate pune în cazul oricărui mijloc de transport, se referă la *limitarea căldurii dezvoltate prin arderea tapițeriei interioare, inclusiv a fumului și gazelor nocive* emanate. Deoarece noile reglementări interzic, cu începere din acest an, majoritatea materialelor utilizate pînă în prezent, constructorii de aeronave în colaborare cu producătorii de materiale au fost nevoiți să găsească noi soluții. Una dintre acestea, elaborată de „Aerospatiale", constă din înlocuirea țesăturilor aramidice, printr-un material hibrid, constînd dintr-un amestec de țesături pe bază de fibre de carbon și de sticlă. Pe lîngă atingerea obiectivului propus, referitor la proprietățile ignifuge și de limitare a emisiilor toxice, aceste materiale, cu un conținut de 33% fibre de carbon și 66% fibre de sticlă, se remarcă și printr-o tehnologie mai simplă, greutate mai mică și cost de fabricație mai redus. Datorită acestor avantaje, în prezent se pune problema extinderii utilizării acestui material și pentru componentele structurale cu solicitări reduse.

Analiza lubrifianților pentru utilizări spațiale, deci în condiții de vacuum (în cazul orbitelor geostaționare de 10^{-13} torr), expunerea la radiații și la o gamă largă de temperaturi (între —200°C și +200°C) a scos în evidență oportunitatea utilizării a trei clase pentru ungerea mecanismelor în spațiu (în special rulmenți, came, articulații, ghidaje), fabricate în general din oțeluri inoxidabile, duraluri sau aliaje de titan. Aceste categorii de lubrifianți, capabili să-și îndeplinească rolul în condițiile specificate, sînt:

— *materiale plastice autolubrifiante,* ca: politetrafluoretilenă (PTFE sau teflon) incluzînd fibre de sticlă și bisulfură de molibden (MoS_2), material cunoscut sub denumirea de „Duroid"; poliacetali, cu denumirea comercială „Delrin"; poliamide încorporînd MoS_2, denumite „Vespel"; astfel de materiale sînt ușor de produs și ieftine, dar problemele legate de stabilitatea chimică și geometrică, de capacitatea portantă le fac utilizabile numai pentru contacte ușor încărcate și care nu sînt expuse unor condiții funcționale grele;

— *materiale solide lamelare* (avînd o structură asemănătoare cu a grafitului, care însă nu poate fi utilizat în spațiu cosmic, deoarece devine abraziv) de genul bisulfurilor, biselenurilor și biteluridelor de molibden, tungsten sau niobiu; cel mai utilizat lubrifiant solid din această categorie este MoS_2, fie introdus în lianți anorganici, fie depus prin metode de vaporizare fizică (PVD, în mediu de plasmă) pe suprafețele în frecare;

— *materiale ceramice extradure* depuse prin metode de vaporizare chimică (CVD), atunci cînd materialul protejat tribologic prin acest pro-

Scanned with OKEN Scanner

cedeu poate suporta temperatura ridicată (circa 800°C) necesitată de procedeul de depunere; cel mai utilizat material în acest scop este carbura de titan (TiC), caracterizată prin coeficienți de frecare reduși, duritate adecvată, stabilitate geometrică, compatibilitate cu MoS_2 depusă prin metoda PVD; alte materiale din această categorie, cu proprietăți funcționale asemănătoare, sînt ceramicele masive obținute prin sinterizare.

Atunci cînd se utilizează oricare dintre lubrifianții menționați trebuie verificată compatibilitatea tribologică a materialelor pe care lubrifiantul le separă, pentru a se evita griparea în cazul discontinuității acestuia.

b. **Motoare cu ardere internă.** Noile materiale încep să fie utilizate pe scară tot mai largă pentru componente ale motoarelor cu piston sau cu turbină, uzinate tradițional din materialele metalice care apăreau greu, dacă nu chiar imposibil de înlocuit. Astfel, pe lîngă bielele din materiale compozite, care au început să fie utilizate la motoarele de automobil Volkwagen (v. TCM nr. 6 din 1989), o atenție deosebită este acordată și altor repere cu solicitări complexe, cum ar fi pistoanele, protejate în prezent, pe partea dinspre camera de ardere, printr-un strat din fibre de Si-Ti-C-O.

De asemenea, carcasele turbomotoarelor de aviație au început să fie confecționate din noile aliaje Al-Li (de ex. pentru avionul „Rafale"), mai ușoare și mai rezistente decît duralurile folosite pînă în prezent.

c. **Utilaje.** Calapoadele și matrițele utilizate pentru fabricarea componentelor din compoziție, confecționate din materiale cu temperatură scăzută de înmuiere, își pot extinde aria de utilizare, de exemplu de la fabricarea oglinzilor radar sau pentru sistemele de telecomunicații și la alte repere, o dată cu lărgirea ariei de pătrundere a compozitelor; ele însăși confecționate din compozite armate cu fibre de carbon prezintă avantaje substanțiale din punctul de vedere al duratei și numărului de utilizări, a stabilității geometrice, a simplității tehnologice și reprezintă o etapă superioară în conceperea și realizarea de produse avansate.

O altă categorie de utilaje, de această dată pentru temperaturi ridicate, își pot de asemenea ridica performanțele funcționale prin confecționarea din materiale avansate, ex. din compozite armate cu fibre ceramice (pe bază de oxizi metalici pentru materialul Nextel 440) și care își mențin flexibilitatea pînă la aproape 1 400°C. Astfel de materiale sînt indicate pentru realizarea de izolații termice, pentru confecționarea benzilor de conveier ce alimentează cuptoarele, a izolațiilor pentru termocupluri, a deflectoarelor de flacără, a etanșărilor pentru gazele arse etc.

d. **Construcții navale.** Deși industria navală se numără printre cei mai vechi utilizatori de materiale compozite (materialele de tipul fibreglas — rășini sintetice armate cu fibre de sticlă — au fost utilizate cu peste patru decenii în urmă la vehicule de teren și ambarcațiuni ușoare), în prezent se impune un reviriment în această direcție, pentru a se putea profita de progresele tehnologice recente. Această necesitate derivă din uriașul potențial de utilizare a compozitelor pentru înlocuirea metalelor, ceea ce ar permite obținerea unor caracteristici funcționale superioare și implementarea unor tehnologii mai simple, cu grad ridicat de automatizare și chiar de robotizare.

În prezent, construcțiile navale (cu precădere ambarcațiuni de tonaj redus) utilizează numai în Europa de Vest circa 70 000 t anual de poliesteri armați cu fibre din sticlă de tipul E, datorită simplității metodelor de fabricație, bunei rezistențe mecanice și la coroziune, costului care a deve-

Scanned with OKEN Scanner

nit convenabil, datorită extinderii producţiei; această cifră reprezintă aproximativ 25% din totalul producţiei acestui material compozit, restul fiind utilizat în construcţii, industria electrotehnică etc.

Pentru a se putea evalua perspectivele utilizării compozitelor în locul metalelor, în tabelul 10.1 se prezintă, comparativ, principalele caracteristici funcţionale pentru materialele structurilor navale, împreună cu costurile, raportate la un metru pătrat şi nu la greutate (în acest ultim caz, care nu este cu totul semnificativ, cel mai ieftin este oţelul, urmat de aluminiu şi compozitul A). Cea mai semnificativă comparaţie privind costul se obţine luînd drept criteriu de comparaţie greutatea minimă combinată cu rezistenţa maximă şi, în acest caz, compozitele constituie soluţia cea mai economică, după părerea specialiştilor britanici.

Tabelul 10.1. **Principalele caracteristici ale materialelor utilizate în construcţiile navale**

Materialul	Densitatea, g/cm³	Raportul costurilor (pentru 1 m²)	Rezistenţa la rupere, daN/mm²	Modulul de elasticitate longitudinal $10^2 \cdot$daN/mm²
Oţel (tip Corten A) pentru sudare	7,75	2,37	48	207
Aliaj de Al N8 pentru sudare	2,76	1,75	27,5	69
Aliaj de Al H30 pentru nituire	2,76	1,78	29,5	69
Compozit A: poliesteri cu fibră de sticlă E	1,44	1,00	8 ... 13	7,3 ... 9,3
Compozit B: poliesteri cu fibre Kevlar 49	1,31	1,26	43	26
Compozit C: poliesteri cu fibre Kevlar 49 şi sticlă E	1,35	1,07	30 ... 40	10 ... 20
Compozit D: poliesteri cu structură sandwich din fibre Kevlar 49 şi sticlă E	1,29	0,98	32 ... 42	12 ... 21
Compozit E: ca şi D, însă cu răşini epoxidice de temperatură scăzută	1,29	1,23	45	30
Compozit F: răşini epoxidice de temperatură scăzută, cu fibre de carbon	1,47	1,85	55	55

În prezent stau la dispoziţia constructorilor navali mai multe categorii de compozite, datorită apariţiei atît a unor noi materiale pentru matrice (răşinile epoxidice modificate, de ex.), cît şi a unor fibre noi: sticlă S, organice (aramidice — Kevlar), de carbon şi combinaţii ale acestora. S-au

Scanned with OKEN Scanner

deschis astfel noi orizonturi, atît pentru construcţia ambarcaţiunilor mici (de competiţii, pescuit, patrulare etc.), cît şi pentru acelea de tonaj mijlociu (nave de cercetare, antimagnetice) şi chiar mare.

O problemă esenţială care trebuie rezolvată, pentru a fi posibilă utilizarea extensivă a compozitelor, este aceea a metodelor şi utilajelor de asamblare necesare carcaselor de mari dimensiuni. În acest scop apare ca deosebit de util transferul tehnologic de la industria aeronautică, pentru care s-au găsit soluţii deosebit de eficiente la fabricarea panourilor, subansamblelor şi ansamblelor de mari dimensiuni, pornindu-se de la piese primare de dimensiuni mai reduse, asamblate atît prin utilizarea adezivilor, cît şi a metodelor mecanice. Apare deci ca realistă posibilitatea fabricăriii unor structuri navale de mari dimensiuni, plecîndu-se de la subansamble formate din componente preformate, iar acestea din urmă cu ajutorul unor utilaje cu suprafeţe adaptabile la diverse necesităţi, deci reutilizabile. Pentru atingerea acestui scop, de o eficienţă deosebită, apare utilizarea metodelor de proiectare şi fabricaţie asistate de calculator.

Trebuie remarcat că posibilităţile de transfer tehnologic nu se limitează la construcţiile de nave propriu-zise, gama de aplicaţii putînd include şi *platformele maritime pentru exploatările petrolifere,* submarine, conteinere subacvatice şi, în general, orice construcţie susceptibilă de a fi utilizată în cel mai agresiv mediu al planetei — apa de mare.

Rezistenţa compozitelor la acţiunea acestui factor de coroziune extrem de puternic, net superioară de altfel oricărui material metalic, a fost sistematic studiată pentru definirea fiabilităţii în timp a construcţiilor realizate în acest mod; utilizarea timp mai îndelungat a poliesterilor armaţi cu fibre de sticlă a permis obţinerea unor concluzii pentru acest tip de materiale (inclusiv comportarea la fluaj), constatîndu-se că răşinile izoftalice se comportă mai bine decît acelea ortoftalice sau tetrahidroftalice.

e. **Echipamente pentru utilizarea surselor de energie neconvenţionale.** Producerea energiei electrice prin utilizarea diferenţelor de temperatură în funcţie de adîncimea mărilor şi oceanelor constituie o preocupare de o actualitate deosebită, în special pentru regiunile tropicale, datorită posibilităţii obţinerii electricităţii fără consum de combustibili chimici. Problemele tehnologice însă ce trebuie rezolvate pentru producerea electricităţii pe scară industrială în aceste condiţii sînt considerabile: astfel, pentru 1 MW este necesară pomparea a 1,5 ... 2 m^3/s apă de mare din zona rece, ceea ce impune utilizarea unor conducte cu diametre de minimum 3 m; în plus, acestea trebuie să nu fie sensibile la coroziune şi să reziste la solicitările provocate la flotabilitate şi mişcările masei de apă.

Materialele ce pot fi luate în considerare pentru confecţionarea conductelor de apă rece sînt:

— *oţelurile:* constituie soluţia cea mai ieftină, dar cu cea mai mare densitate, fără izolare termică şi cu risc mare de coroziune; chiar dacă se folosesc straturi izolante şi de protecţie la coroziune, problema flotabilităţii anulează avantajul preţului redus;

— *oţelurile inoxidabile:* nu pot fi utilizate decît pentru anumite repere, riscul de coroziune impunînd materiale şi tehnologii complicate şi costisitoare pentru obţinerea conductelor;

— *răşinile polietilenice de mare densitate:* satisfăcătoare pentru proiectele experimentale comportînd conducte cu diametre mai reduse, nu pot fi utilizate la construcţiile din exploatare datorită unei slabe rezistenţe la fluaj, ceea ce ar conduce la grosimi prohibitive ale pereţilor;

Scanned with OKEN Scanner

— *materiale plastice armate cu sticlă:* prezintă avantajul decisiv pentru astfel de aplicații, avînd cea mai mare rezistență specifică (raportată la densitate) iar caracteristica lor de îmbătrînire în apă de mare le asigură o durată de utilizare de peste 25 ani, acesta fiind timpul estimat pentru amortizarea investițiilor.

Practic, se utilizează rășini epoxidice armate cu fibre de sticlă E, avînd următoarele caracteristici: densitatea: 2,1 g/cm^3; rezistența la rupere: 0,74 GPa; modul de elasticitate E=50 GPa; se utilizează structuri sandwich avînd interiorul din spumă epoxidică cu densitatea 0,84 g/cm^3.

Această categorie de materiale este utilizată și pentru confecționarea conteinerelor utilizate la mari adîncimi (pînă la 6 000 m) pentru protejarea diverselor instrumente de măsură și de comunicații, prezentînd o însumare optimă de calități (inclusiv permeabilitate magnetică) față de aluminiu (care prezintă probleme de coroziune în apa de mare), titan (prea scump) sau oțeluri inoxidabile (prea grele).

f. **Industria medicală.** Implementarea materialelor organice (rășini sintetice, armate cu fibre care pot fi de asemenea organice sau de carbon) în loc de metale este logică, deoarece și corpul uman este un complex organic, deci se poate obține o compatibilitate pe care metalele nu au cum să o asigure. Utilizarea materialelor compozite monolite și biocompatibile a devenit o practică curentă pentru confecționarea protezelor, inclusiv dentare, asigurînd un complex de avantaje privitoare la o funcționalitate armonioasă cu organismul pe care îl asistă, inclusiv acela de a nu interfera cu metodele de control medical și tratament bazate pe rezonanța magnetică nucleară.

g. **Echipament sportiv.** Constituie una dintre ramurile industriale care a preluat cu cea mai mare rapiditate noile materiale și tehnologii, în unele cazuri semnalîndu-se chiar realizarea unei opere de pionierat: ambarcațiuni din fibreglas; roți pentru bicicletele de competiție fabricate în urma unor studii aerodinamice speciale, din rășini epoxidice armate cu o țesătură din fibre de carbon și o structură tip fagure din aluminiu, lipită adeziv, adică tehnici preluate direct din industria aerospațială; planoare și deltaplane realizate din compozite, inclusiv țesături din diverse fibre organice și anorganice impregnate cu rășini sintetice; rachete, crose etc. din materiale plastice ranforsate cu fibre de carbon sau kevlar ș.a.m.d.

Scanned with OKEN Scanner

11

Transmiterea informației prin fibre optice, domeniu cu multiple aplicații și largi perspective

Prof. dr. ing. *Dolphi Drimer*
Institutul Politehnic București
Ing. *Cornel Vlad*
Întreprinderea „Conect" București

1. Considerații generale

În continuarea articolului „Tehnologii pentru fibre optice" apărut în nr. 5/1989 al seriei T.C.M.M., autorii prezentului material își propun să prezinte succint o serie de aplicații ale fibrelor optice precum și unele probleme tehnologice ale utilizării acestora.

Din anul 1966, cînd Dr. Charles Kao și George A. Hockham au pus bazele comunicațiilor prin fibre optice, într-un articol publicat în revista „Proceedings of the IEE", domeniul a cunoscut o continuă dezvoltare și aplicații multiple.

Astăzi fibrele optice înlocuiesc cu succes în telecomunicații cablul coaxial din cupru, astfel încît 45 kg de fibre optice asigură tot atîtea legături ca și 1 000 kg de cupru și deschid, totodată, perspective noi prin imaginarea și realizarea unor noi instalații sau dispozitive.

Două condiții esențiale au trebuit să fie însă îndeplinite înainte de a se produce această „revoluție tăcută" în tehnica transmiterii informației:

— obținerea prin intermediul unor tehnologii accesibile și reproductibile a unor fibre cu parametrii tehnico-calitativi corespunzători;

— noile tehnici utilizînd fibre optice să poată fi aplicate și extinse la costuri mai mici comparativ cu soluțiile tradiționale. De asemenea, dezvoltarea și perfecționarea tehnicii laser, punerea la punct a diodelor laser și a celor electroluminescente au favorizat desfășurarea acestui proces de înnoire în ritm exponențial. A apărut, în ultimii ani, un domeniu al tehnicii care cîștigă din ce în ce mai mult teren — *optoelectronica* — cu dispozitive de emisie, codificare și decodificare a luminii cele de recepționare a semnului transmis, conectorii pentru cabluri optice, realizîndu-se creșterea gradului de miniaturizare și integrare.

În numai două decenii, s-a ajuns de la o atenuare de 1 000 dB/km a fascicolului injectat într-un ghid de lumină la valori subunitare ale acestui parametru și transmiterea cu ajutorul fibrelor optice a unui semnal luminos la o distanță de 204 km cu un debit de 420 milioane impulsuri pe secundă, fără folosirea unor relee intermediare. Se întrevede la orizont o nouă știință, *optotronica*, ce va revoluționa domeniul astăzi prioritar al electronicii.

Scanned with OKEN Scanner

2. Sisteme de telecomunicaţii urbane şi interurbane

Aplicaţiile cele mai importante ale fibrelor optice se întîlnesc în telecomunicaţii. Primele sisteme de transmisie s-au experimentat pe distanţe scurte, atenuările relativ mari şi dispersia considerabilă a semnalului luminos nepermiţînd decît legături pe trasee de ordinul kilometrilor. În prezent însă, sistemele optice pentru transmiterea datelor, interconectarea computerelor, televiziune prin cablu (C.A.T.V.) şi telefonie au intrat deja în cotidian. Companiile de telefon instalează linii de fibră optică la solicitarea beneficiarilor particulari sau a întreprinderilor. Ajungînd la capacităţi de ordinul zecilor de km, reţele locale de date (Local-Area Networks — LAN) bazate pe fibre multimod, au distanţe între noduri de maximum 2 km iar cele municipale (Metropolitan-Area Network — MAN) utilizînd fibră unimod au distanţe de ordinul zecilor de km între noduri. Transmiterea bidirecţională a unei raze de lumină prin intermediul unei singure fibre s-a demonstrat a fi posibilă pentru aplicaţii în telefonie şi tehnica video ceea ce permite o utilizare intensivă a magistralelor deja instalate.

De exemplu, compania Teleport Boston din S.U.A. îşi propune să construiască o reţea de circa 180 km în zona centrală a oraşului Boston. Aceasta urmează să fie finalizată în anul 1991, permiţînd accesul a circa 60% din companiile şi instituţiile care îşi au sediul în zona respectivă. Reţeaua, de formă triunghiulară, va consta din 144 cabluri optice ce vor asigura un debit de informaţie de 565 Mbiţi/s, echivalentul a 8 064 legături telefonice sau informaţionale simultane. În funcţie de solicitări, capacitatea reţelei, a cărei instalare va costa circa 30 milioane dolari, va putea fi sporită de patru ori fără a fi necesară pozarea unor noi cabluri. Este de asemenea planificată construirea unei staţii care va stabili legături internaţionale via satelit pentru abonaţii reţelei. Deşi instalarea sistemului a început doar recent, costul unui abonament se estimează la un nivel cu 10% inferior celui la sisteme clasice. De altfel, în 1988 compania New England Telephone, care operează în aceeaşi zonă, a instalat sisteme cu fibre optice în peste 130 de clădiri din centrul financiar-bancar al oraşului, legîndu-le de cei peste 100 mii km de fibră optică instalaţi în zona New England din S.U.A.

Capacitatea mare de transmitere a informaţiei în sistem digital a unor astfel de reţele de fibră optică oferă condiţii ideale pentru interconectarea calculatoarelor sau pentru accesul simultan din mai multe puncte la un calculator central.

Sistemele de interconectare „token-ring" cu configuraţii complexe, utilizînd fibre optice, permit sporirea substanţială a puterii de calcul prin interconectarea mai multor computere. În prezent se află în curs standardizarea acestui tip de reţele, ceea ce va duce la compatibilitatea acestora şi deci posibilitatea de intercomunicare. Cuplarea unui calculator personal la o reţea de comunicaţii optice a devenit un lucru atît de necesar încît s-a impus elaborarea unei interfeţe standard de date distribuite prin fibre optice (Fiber Distributed Data Interface-FDDI). Acest standard elaborat de IEEE prevede şi creşterea debitului de informaţie pe reţele la 100 Mbiţi/s precum şi distanţe mai mari între noduri, încurajînd înlocuirea cablurilor din cupru cu fibre optice, care oferă cu uşurinţă aceste performanţe. O altă noutate este oferită de compania „Fibronics International"

Scanned with OKEN Scanner

din SUA, care a pus la punct un dispozitiv ce convertește semnalul optic transmis prin intermediul fibrelor multimod în semnal transmisibil prin fibră monomod. Astfel, devine posibilă intercomunicarea dintre rețelele de tip LAN și cele de tip MAN, lucrîndu-se cu același debit standard de informație (100 Mbiți/s).

Interconexiuni de acest tip au fost experimentate recent în calitate de beneficiar de compania italiană „Autostrade S.P.A.". Pe autostrăzile exploatate de compania respectivă, fiecare stație de taxare constituie un mini LAN, automatele de încasare a taxei de autostradă fiind interconectate local. Distanța între două stații de taxare nu depășește 30—40 km, așa că s-a apreciat ca posibilă stabilirea legăturii atît între stații dar și cu un calculator central. Noul sistem astfel realizat controlează automat traficul pe circa 5 000 km de autostrăzi. În următorii zece ani, specialiștii prevăd schimbări profunde în tehnica de calcul. Arhitecturile multiprocesor și creșterea capacității de calcul a calculatoarelor personale în condițiile scăderii costurilor de producție, deci și de desfacere vor aduce „calculul paralel" în segmentul de piață dedicat consumatorului individual. În următorii ani minisupercomputerele vor deveni mai importante decît calculatoarele din alte clase. Diferitele părți ale unei probleme de soluționat vor fi distribuite între două sau mai multe calculatoare de către compilatoare „inteligente", iar legăturile între diferitele unități de calcul se vor face cu ajutorul fibrelor optice. În lumea constructorilor de calculatoare se lucrează deja, de cîțiva ani, la computerul optic cu arhitectură în „sistem neural" care încearcă să imite modul în care sînt dispuși în rețele neuronii creierului uman. Desigur, problema a beneficiat pînă acum de mai multe abordări — circa 2 000 de oameni de știință au participat la prima întîlnire anuală a societății științifice interdisciplinare „International Neural Network Society", create în acest scop, în anul 1988, soluția optică fiind una dintre cele mai promițătoare. De exemplu, un grup de cercetători din cadrul secției de optică de la „Naval Research Laboratory", Washington DC, au realizat un astfel de calculator care are calitatea „învățării adaptive". Această calitate nouă va avea de jucat un rol central în aplicații complexe cum sînt „înțelegerea" de către computere „inteligente" a unei imagini, a limbii vorbite sau a sensului mimicii figurii umane. Astfel de sisteme pot acționa ca „filtre de informații", reținînd în mod ideal numai cunoștințele importante pentru îndeplinirea unui anumit scop și avînd capacitatea de a evita saturarea cu informații nerelevante. Pentru următorii ani este previzibilă dezvoltarea pe care o vor lua băncile de date din diferite domenii (economic, tehnic, legislativ etc.), viteza cu care vor circula informațile între furnizor și beneficiar sau gradul în care vor putea fi diversificate serviciile la care poate avea acces posesorul unui calculator personal. De la afișarea informațiilor simple, gen buletin meteo pentru orice zonă a lumii, pînă la soluționarea din propria locuință, de exemplu, a unor probleme de organizare a producției pe bază de date furnizate în timp real de computerul existent într-o întreprindere, totul este posibil în condițiile conectării propriului computer la o rețea de telecomunicații cu fibre optice.

De altfel, în unele țări cum ar fi SUA, Japonia etc. sînt deja în curs experimente de instalare a unor sisteme denumite în mod sugestiv „fibră pînă acasă", diferite de rețeaua de telefon clasică. Compania „Southern Bell" din SUA testează distribuirea informațiilor și programelor TV precum și legături telefonice utilizînd fibre optice iar compania AT&T pro-

Scanned with OKEN Scanner

duce în serie și comercializează tot echipamentul necesar acestui gen de rețea concepută pentru a permite accesul consumatorului individual. Televiziunea prin cablu se extinde pe baza noilor tehnici de transmitere a informației, sistemele digitale care utilizează fibră optică fiind mai fiabile și mai ieftine în condițiile creșterii fidelității și rezoluției imaginii. De exemplu, la începutul anului 1989, firma japoneză Fujitsu a început comercializarea unui emițător CATV digital care poate transmite pînă la 32 canale simultan prin intermediul unei singure fibre optice monomod. Semnalul optic este emis de un laser cu lungimea de undă de 1,3 sau 1,55 μm, atît imaginea cît și sunetul recepționate fiind de înaltă fidelitate.

3. Sisteme submarine de comunicații

În anul 1866, Atlanticul de Nord a fost traversat pentru prima dată de un cablu submarin — de telegrafie — iar, în 1956, a fost instalat, pe aceeași distanță, un cablu telefonic cu 36 de circuite și stații de recepție și reamplificare a semnalului (repetori). Acest sistem bazat pe utilizarea cablului coaxial din cupru a fost dezvoltat, de-a lungul anilor ajungîndu-se la capacități de 10 000 circuite, cu utilizarea unor frecvențe de pînă la 45 MHz. Sistemele optice puse la punct în ultimul deceniu oferă însă mari avantaje. În primul rînd, costul este mai scăzut, în principal, deoarece sînt necesari mai puțini repetori — la prima generație de sisteme optice distanța dintre repetori era de circa 40 km, de șapte ori mai mare decît cea corespunzătoare celor mai perfecționate sisteme bazate pe cablu coaxial. În al doilea rînd, numărul de circuite simultane este considerabil mărit iar, în al treilea rînd, fără a mai enumera și alte avantaje, transmisia optică este mai indicată sistemului digital, fiind deci, în acord cu tendința mondială către comunicații digitale. Prima încercare experimentală de pozare a unui cablu sub apă s-a făcut în Scoția de către Compania de Telecomunicații Britanică și STC, în anul 1980, urmată de încercări ale unor firme din alte țări interesate ca Japonia, Franța, SUA. Preocuparea pentru realizarea de noi sisteme de legături submarine, în ciuda faptului că numărul sateliților de telecomunicații este tot mai mare, se justifică prin faptul că permit un debit mare de transmisie, pe distanțe medii și lungi, între două puncte fixe. Rețeaua de legături este într-o continuă creștere, ca urmare a sporirii solicitărilor de circuite telefonice, iar capacitatea fibrelor optice de a transmite informații le conferă acestora o deosebită suplețe. Dacă se ia în considerare introducerea concentratorilor de trafic, capacitatea poate spori de cinci ori în cazul transmisiilor numerice și de două ori în cazul celor analogice.

Elementele principale ale unei legături submarine sînt, evident, cablul și repetorii. Cablul se așterne fidel pe fundul oceanului pentru a se evita antrenarea lui de către curenții marini. Pe platformele continentale, acesta se poate îngropa la mică adîncime, utilizîndu-se un plug construit special, sau se poate proteja cu o armură metalică. Repetorii sînt telealimentați cu energie electrică, fiind legați în serie, și au, evident, rolul de a reconstitui semnalul și de a compensa pierderile. La cele două capete, cîte un echipament terminal modulează semnalul primit din rețeaua terestră iar echipamente de telesupraveghere asigură verificarea funcționării și localizarea defecțiunilor. Condițiile de calitate impuse sînt extrem de severe.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, pentru o legătură de 64 kbit/s, la o lungime de 7 400 km, se admit 4,4 erori la 10^8 semnale transmise, durata transmisiunilor cu o calitate inacceptabilă — rata erorilor mai mare de 10^{-3} — trebuind să fie mai mică de 4 s/24 h. Timpul de indisponibilitate al sistemului nu trebuie să depășească 115 min/an. Durata de viață mare este impusă de faptul că o asemenea legătură implică investiții considerabile iar timpul necesar studiilor, fabricării și instalării poate fi de cîțiva ani. În general, se așteaptă ca durata de viață a unui sistem de acest gen să fie 25 de ani, cu o probabilitate de 90% de a nu apărea nici o defecțiune.

Sistemul S280, pus la punct prin colaborare de mai multe firme din Franța, utilizează, de exemplu, cablu cu una pînă la trei perechi de fibre monomod. Fiecare dintre acestea are capacitatea de a asigura un debit de 140 Mbit/s, adică echivalentul a 20 000 legături telefonice simultane dacă se adoptă soluția cu concentratori de trafic. Atenuarea în cablu este sub 0,5 dB/km pentru lungimea de undă de 1,3 μm a radiației transmise, firele fiind cît mai lungi, pentru a micșora numărul de joncțiuni care introduc atenuări suplimentare. Echipamentul de emisie are ca sursă diode laser ce asigură transmiterea în fibră a unor puteri mari iar la recepție se utilizează fotodiode PIN cu fiabilitate și sensibilitate înaltă. Fiecare regenerator este dotat cu un circuit de telesupraveghere dublu sens, care asigură trei servicii fără a întrerupe comunicațiile:

— declanșarea alarmei în momentul în care curentul de polarizare al diodei laser depășește un anumit nivel sau în momentul în care este depășit nivelul impus ratei erorilor;

— comutarea telecomandată a emițătorului optic pe una din cele trei diode laser de rezervă;

— verificarea în mod continuu a bilanțului energetic pe toate secțiunile de amplificare.

Toate aceste funcții sînt realizate cu ajutorul unor circuite integrate. La emisie, echipamentele terminale de transmisie asociate unei perechi de fibre recepționează două trenuri de impulsuri de cîte 140 Mbit/s, pe care le multiplexează, partea de tratare a semnalului fiind dublată ca și partea de emisie optică. La recepție se efectuează procedeul invers — detecția, decodajul și demultiplexarea. Consumul de energie electrică al unui repetor este de 20 W; la o tensiune de 20 V, ceea ce impune o tensiune globală de 11 000 V pentru a alimenta repetorii necesari unui traseu de 7 400 km. Sistemul francez a fost testat cu succes între anii 1981—1985 pe distanțe scurte și medii în Marea Mediterană. Există însă și firme care, singure, pot livra legături submarine „la cheie". De exemplu firma japoneză Fujitsu oferă sisteme de 140 Mbit/s și 280 Mbit/s pentru lungimi de 8 000 km și adîncimi de pînă la 8 000 m.

Douăzeci și două de companii de telecomunicații sînt angajate în realizarea celui mai spectaculos sistem de telecomunicații cu fibre optice care va uni SUA, Japonia și Hawai. Sistemul, al cărui cost se estimează la circa 600 milioane dolari, va utiliza, pentru acoperirea distanței de peste 8 271 mile marine, un cablu cu două perechi de fibre, care va permite un debit de 280 Mbit/s, echivalentul a 37 800 circuite telefonice simultane.

Proiecte similare au fost transpuse în practică în zona Atlanticului de Nord, unde primul cablu cu fibre optice între America de Nord și Europa, denumit TAT-8, a fost dat recent în funcțiune (1988); asigurînd 40 000 de conversații simultan. Este de menționat că în timp ce costul de întreținere a unui circuit telefonic transatlantic în varianta clasică este

Scanned with OKEN Scanner

5 000 dolari/an, un circuit similar utilizînd fibre optice costă 2 500 dolari/an, mult mai avantajos decît comunicaţiile via satelit al căror cost se ridică la 7 000 dolari/an/circuit, la o durată de viaţă de numai 10 ani, în comparaţie cu cei 25 de ani de funcţionare care se prevăd pentru TAT-8. Următorul proiect — TAT-9 — prevăzut a fi realizat în 1991 va asigura legătura între SUA, Anglia, Canada, Franţa şi Spania iar „ATT", împreună cu 11 alte companii, va instala cabluri optice în Marea Caraibilor, legînd SUA de Puerto Rico, Republica Dominicană, Jamaica şi Columbia. Acest din urmă sistem, prevăzut a fi dat în funcţiune în 1990, costă 130 milioane de dolari. Proiectele firmei British Telecom includ instalarea unor legături cu fibre optice în Marea Nordului. Astfel cablul „Marea Britanie-RFG-5" va fi finalizat în anul 1991. Un sistem similar funcţionează din luna iulie 1987 între Marea Britanie şi Belgia iar un altul a fost instalat recent între Marea Britanie şi Danemarca.

4. Aplicaţii în construcţia de maşini

Aplicaţiile cele mai frecvente ale fibrelor optice în construcţia de maşini vizează cablarea maşinilor-unelte cu comandă program. Precizia transmiterii datelor prin impulsuri electrice în procesul tehnologic poate fi diminuată datorită cîmpurilor electromagnetice care provin de la motoare electrice foarte puternice sau de la alte agregate electrice cît şi datorită pierderilor prin cablu. Ori tocmai în aceste cazuri, proprietatea radiaţiei luminoase de a nu fi perturbată de prezenţa unui cîmp electromagnetic precum şi izolarea electrică completă între emiţător şi receptor constituie un avantaj considerabil. Prin utilizarea sistemelor de transmitere optică se mai obţine avantajul izolării unităţii electrice de comandă faţă de mediul cu vibraţii şi perturbaţii electromagnetice care pot afecta funcţionarea acesteia. Astfel, comanda şi supravegherea unui proces tehnologic se poate face fără probleme chiar în medii cu influenţe electromagnetice foarte puternice cu ajutorul unui calculator plasat în altă încăpere. Pe de altă parte, distanţele relativ scurte între maşina-unealtă şi unitatea de comandă permit, în majoritatea cazurilor, utilizarea unei fibre optice cu performanţe mai modeste, atenuarea semnalului transmis fiind de cele mai multe ori un parametru neglijabil. Astfel, pentru distanţe de pînă la 40 m între maşina-unealtă şi unitatea de comandă se pot utiliza fibre optice din materiale plastice, însă, pentru distanţe mai mari, atenuările, în cazul acestor fibre, capătă valori considerabile, fiind necesară, în prezent, adoptarea soluţiei cu fibre de sticlă. Cu aceleaşi avantaje se preconizează utilizarea fibrelor optice în instalaţiile de bord ale aeronavelor şi în navetele spaţiale.

Pentru aplicaţiile industriale se folosesc astăzi sisteme de transmisie optică ce se pot adapta celor mai diverse cerinţe, iar elementele constructive necesare se produc într-o gamă largă, cu parametri tehnico-calitativi superiori.

O altă direcţie de cercetare aplicativă, în care rezultatele obţinute sînt deja promiţătoare, vizează utilizarea fibrelor optice în controlul nedistructiv, măsurători şi aliniere în procesele industriale. De exemplu, în imediata apropiere a electrozilor de înaltă tensiune nu se pot folosi sonde de măsurare dacă transmiterea datelor se face pe cale electrică, perturbaţiile

Scanned with OKEN Scanner

determinate de cîmpul electromagnetic compromițînd rezultatele măsurătorii.

În al doilea rînd, în cazul în care se lucrează în medii inflamabile, sistemele optice de măsurare exclud riscul de explozie sau incendiu care există în cazul utilizării unei aparaturi electrice expuse oricînd la un scurtcircuit.

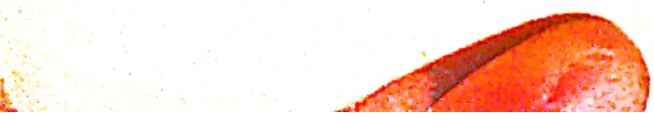
De exemplu, un sistem optic de măsurare a temperaturii are în compunerea sa un emițător care generează un semnal luminos puternic. Propagarea radiației luminoase printr-un mediu transparent — fibră optică — este modificată prin modificarea temperaturii mediului care se dorește a fi măsurată. Semnalul optic este apoi recepționat și prelucrat, procesul fiind controlat de un circuit logic. Performanțele unui astfel de termometru, cu fibre optice, produs de firma „Accufiber" din SUA, sînt remarcabile, rezoluția măsurătorii ajungînd pînă la 0,00002°C pentru temperaturi cuprinse între 500 și 1 900°C. Avantajul unei asemenea rezoluții, de 1 000 de ori mai bună decît în cazul măsurării cu un termocuplu, este dublat de faptul că datele furnizate nu pot fi distorsionate de eventuale interferențe electromagnetice. Zona de aplicații este largă. În experimente de laborator, la temperaturi înalte în cuptoare cu inducție sau cu microunde, în industria semiconductorilor, în procese de creștere a cristalelor, în tehnica plasmei și în multe alte domenii, a fost posibilă realizarea unor măsurători de temperaturi cu precizie ridicată, permițînd creșterea productivității și a calității produselor.

În multe sectoare ale industriei, controlul nedistructiv este absolut necesar ca etapă a unei tehnologii de fabricație sau în exploatarea utilajelor. În acest domeniu, ca și în medicină de altfel, endoscopul cu fibre optice s-a dovedit a fi un instrument cu multiple valențe.

Producătorii de instrumente cu fibre optice au lansat o gamă largă de endoscoape medicale și tehnice ce pot fi clasificate astfel: endoscoape rigide, endoscoape flexibile și video-endoscoape. Dimensiunile de lucru diferă. Astfel, de exemplu, firma „Olympus" din RFG oferă endoscoape flexibile cu diametrul minim de 1,8 mm și lungimea de lucru maximă de 6 m în timp ce endoscoapele rigide pot ajunge pînă la lungimi de 30 m. Înzestrate cu obiective de schimb, majoritatea endoscoapelor ce se produc astăzi pot capta imagini cu un cîmp destul de larg. În general, endoscoapele se protejează la exterior pentru a putea lucra în medii chimice active.

Printre domeniile în care endoscopia se aplică în mod frecvent se numără industria energetică și industria chimică, în care verificarea stării conductelor pentru asigurarea securității în funcționare are un rol foarte important. Utilizarea acestei metode de control care nu necesită întreruperea funcționării instalațiilor s-a dovedit a fi deosebit de avantajoasă din punct de vedere economic.

De exemplu, compania Tokyo-Gaz, unul dintre cei mai mari furnizori de gaz din Japonia, se confruntă permanent cu probleme în ceea ce privește controlul stării rețelei sale de conducte de distribuire. Scopul acestui control este constatarea stării de corodare a conductelor îngropate în pămînt sau a eventualelor deformări, ca urmare a lunecărilor de teren sau a cutremurelor. O soluție foarte avantajoasă pentru aceste probleme o oferă endoscopia cu fibre optice. Endoscopul se introduce în conducta de gaz printr-un ventil special construit. În acest mod controlul se efectuează fără să se perturbe traficul rutier și fără să se întrerupă furnizarea gazului.



Scanned with OKEN Scanner

În cazul unor instalații mai complexe, cu ajutorul endoscopiei cu fibre optice se pot depista fisuri, pittinguri, zone corodate, depuneri, cordoane de sudură imperfecte etc. fără a fi necesară demontarea, deosebit de costisitoare a unor subansamble. Astfel, de exemplu, în multe domenii ale industriei apar situații cînd anumite organe de mașini, deși corodate sau cu fisuri, pot funcționa în continuare pînă la atingerea unei anumite limite. În acest scop s-au construit endoscoape ce permit efectuarea prin metoda comparativă a măsurării dimensiunilor unui defect al unui organ de mașină.

5. Aspecte tehnice ale sistemelor de transmisie optică a informației

În general, azi, un sistem optic de transmitere a informației are în componență următoarele subansamble mai importante:

— conductorul optic;

— sistemul de transformare a semnalului electric în semnal luminos;

— sistemul de recepție și conversie inversă a semnalului luminos în semnal electric;

— elemente de cuplare a conductorilor optici.

Conductorul optic. Dezvoltarea în ritm rapid a optoelectronicii, miniaturizarea componentelor, perfecționarea elementelor de cuplare, obținerea unor sticle cu proprietăți optice mai bune etc., determină utilizarea tot mai frecventă, în prezent, a fibrelor optice unimodale în detrimentul celor multimod cu parametrii de lucru mai mici. Avantajele sînt evidente, dacă se amintește doar faptul că, într-un sistem de transmisie a datelor de tip LAN sau MAN, distanța maximă între două noduri poate crește de la 2 km, corespunzător fibrelor multimod, la 40 km pentru fibră monomod. În orice caz, performanțele optice ale ambelor tipuri de fibră optică se apropie astăzi de limitele teoretice ca rezultat al compoziției materialelor utilizate, al constanței dimensionale, al proiectării profilului indicelui de refracție al fibrei, controlului tot mai riguros al procesului de fabricație și al acoperirii superficiale a sticlei prin tehnici de depunere chimică. În majoritatea aplicațiilor, fibra nu se utilizează ca atare, ci se trage în cabluri.

În general, cablurile optice au număr par de fibre, izolate între ele pentru a se evita orice interferență a fasciculelor luminoase transmise.

Fibrele optice sînt înfășurate în jurul unui suport central, operație care trebuie realizată în așa fel încît să se evite introducerea de tensiuni mecanice în fibră. Suportul de rezistență, pe care sînt practicate canale elicoidale, se confecționează din materiale care trebuie să îndeplinească condiții speciale din punct de vedere al elasticității, rezistenței mecanice și al coeficientului de dilatare. Ansamblul este protejat împotriva umezelii de cîteva straturi de izolație și armat în vederea sporirii rezistenței mecanice.

Majoritatea firmelor producătoare oferă trei categorii de cabluri optice care pot avea una sau mai multe perechi de fibre:

— cabluri telefonice cu componente metalice;

— cabluri fără componente metalice, capabile să suporte condiții dure de exploatare;

— cabluri pentru interconectarea sistemelor de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

De exemplu, primul cablu, submarin de telefonie cu fibre optice din lume, instalat, în 1985, de companiile British Telecom și Standard Telephones and Cables (STC), a făcut legătura între Marea Britanie și Belgia, Olanda și RFG, oferind 11 520 legături simultane prin intermediul a șase fibre, cîte trei pentru fiecare sens. Fiecare fibră are capacitatea să transmită un debit de informație de 280 Mbit/s. Diametrul exterior al unui asemenea cablu cu șase fibre optice este de 7 mm iar greutatea de 36 kg/km.

O pondere tot mai mare în producția tuturor firmelor o capătă cablurile unifibră pentru transmisii digitale simplex sau duplex. Prin construcție, acestea sînt foarte rezistente și pot fi pozate în orice mediu, chiar înglobate în cablurile de transport al energiei electrice.

Pentru cablarea internă a calculatoarelor, a mașinilor-unelte, a utilajelor etc. se utilizează, în ultimul timp, cabluri optice de tip panglică, care prezintă avantajul unei interconectări mai ușoare.

În prezent, beneficiarii solicită tot mai frecvent fibre optice cu proprietăți mecanice îmbunătățite: fibra ar trebui să aibă capacitatea de a prelua, cel puțin pe durate scurte de timp, solicitări mecanice accidentale fără să apară modificări semnificative ale proprietăților optice. Astfel, rezultate ale unor cercetări recente satisfac tocmai aceste necesități impuse de utilizatori. Un nou tip de fibre optice prezintă o compoziție modificată a materialului la suprafață. Silica de la suprafața exterioară a învelișului optic este dopată cu bioxid de titan. Rezultatul este că, fără modificări ale proprietăților optice, apare o creștere cu circa 25% a rezistenței la oboseală care dă măsura capacității fibrei de a prelua solicitări mecanice.

O altă modalitate de sporire a rezistenței este acoperirea ermetică (placarea) fibrei optice. Companiile Corning Glass și AT&T din Statele Unite au anunțat realizarea unor fibre optice acoperite cu carbon amorf, care sînt practic ermetice împotriva apei și a hidrogenului. Desigur, în prezent, utilizarea fibrelor ermetice presupune o tehnică specială de îmbinare prin sudură sau lipire, care să permită reconstituirea stratului exterior de carbon. Astăzi, fibrele „ermetice" se utilizează doar în aplicații militare sau în alte cazuri în care mediul coroziv sau temperatura și presiunea înaltă la care pot fi supuse în timpul utilizării impun acest lucru. În perspectivă se prevede ca fibrele acoperite cu carbon să fie utilizate la fabricarea cablurilor subacvatice, unde mediul bogat în hidrogen poate duce la impurificarea silicei și, deci, la creșterea atenuării, iar solicitările mecanice pot fi considerabile atît în timpul instalării cît și al eventualelor depanări.

Un alt tip nou de fibre, cărora li se acordă un interes deosebit în prezent, sînt cele dopate cu pămînturi rare. Construirea, în viitor, a unor amplificatoare optice bazate pe acest tip de fibre va face posibilă creșterea puterii optice fără utilizarea repetorilor electronici, care se dovedesc a fi destul de costisitori.

Ca și în cazul altor produse, fibrele optice se fabrică într-o gamă largă, aplicația concretă fiind aceea care impune specificațiile tehnice. Astfel, pentru aparatura de măsură și control optic care lucrează cel mai frecvent în spectrul infraroșu se fabrică fibre din sticlă fluorurată. Aceste fibre, proiectate pentru zona de 2—3 μm a lungimii de undă, se realizează din sticle Zr-F, care prezintă, însă, dezavantajul unei rezistențe mecanice scăzute. Problema se poate soluționa prin acoperire exterioară.

Cuplarea fibrelor și cablurilor optice. În realizarea oricărui sistem de transmitere optică a informațiilor se impune cuplarea în condiții de rezistență mecanică bună, protecție și atenuare cît mai redusă a fibrelor

Scanned with OKEN Scanner

optice. Acest lucru se poate realiza în funcție de necesități, sub formă demontabilă sau nedemontabilă. Efectuarea oricărei conectări impune însă condiții severe de aliniere a fibrelor, mai ales în cazul celor monomod al căror miez are diametrul cuprins între 5 și 10 μm, atenuările suplimentare introduse la îmbinări fiind proporționale cu abaterile de la colinearitatea celor două fibre.

Tehnica îmbinărilor nedemontabile nu pune probleme deosebite, fiind dezvoltate procedee de lipire cu rășini epoxidice sau de sudură cu flacără, cu laser sau cu arc electric care se pot utiliza și în condiții de șantier. De exemplu, pentru sudarea cu arc electric a două fibre, aparatura standard este dotată cu un microscop care mărește de 120 de ori și cu dispozitive micrometrice pentru alinierea x-y-z a celor doi conductori optici. Microscopul asigură vizualizarea alinierii, a distanței corecte dintre fibre înaintea declanșării arcului voltaic precum și controlul îmbinării. Eventual, un microprocesor poate să automatizeze întregul proces, fiind posibilă și intervenția operatorului în vederea schimbării programului ce comandă secvențele de lucru. Aparatul poate fi alimentat de la rețea sau cu baterii, curentul la sudură fiind de ordinul miliamperilor iar durata realizării îmbinării, de ordinul a 4—5 secunde. Atenuarea suplimentară introdusă în mod obișnuit de o asemenea îmbinare este de 0,2—0,4 dB.

Realizarea sistemelor complexe de comunicații impune însă utilizarea conectorilor demontabili la joncțiunile între fire. Derivați din conectica cu aplicații speciale, conectorii pentru fibre optice trebuie să îndeplinească condiții foarte severe pentru a nu introduce atenuări mari, ceea ce presupune ca aceștia să fie realizați în condiții de precizie dimensională și de formă geometrică deosebite. Este cît se poate de evident că în cazul conectării a două fibre monomod al căror miez are, așa cum s-a mai menționat, diametrul de ordinul a 5—10 μm, o eroare de 2—3 μm la aliniere introduce atenuări suplimentare aproape inadmisibil de mari. De asemenea, se mai impune ca extremitățile celor două fibre să nu ajungă în contact deoarece suprafețele frontale se pot deteriora la montări și demontări repetate sau din cauza vibrațiilor. Un număr important de firme producătoare au început să realizeze conectică optică de bună calitate, cererea fiind în creștere în special pentru fibre monomod.

Transmisia bidirecțională prin intermediul unei singure fibre s-a demonstrat a fi posibilă — nu numai experimental — în aplicații de telefonie și video. Dar debitul mare de informație și bidirecționalitatea au impus conectorilor o nouă condiție tehnică: reflexie minimă. Cînd semnalul luminos transmis prin intermediul unei fibre optice întîlnește o discontinuitate, o parte a acestuia este reflectat înapoi către emițător ceea ce poate avea ca efect apariția de zgomot și instabilitate în funcționare. În ciuda acestor condiții stricte în general, conectorii monomod ce se comercializează în prezent pe plan mondial introduc pierderi doar de circa 0,5 dB și reflexie atenuată cu mai mult de 35 dB, performanțe care permit instalarea și utilizarea sistemelor cu debit al informației de peste 1 Gbit/s, pe distanțe de zeci de kilometri.

Deși, pentru viitorul apropiat, nu se prevăd progrese remarcabile în ceea ce privește diminuarea pierderilor introduse de conectori sub valoarea de 0,5 dB, se pare că eforturile producătorilor vor avea ca rezultat creșterea atenuării semnalului reflectat și simplificarea operațiilor de la montajul conectorilor. Față de conectorii monofibră, probleme deosebite

Scanned with OKEN Scanner

aduce realizarea celor multifibră, aceştia fiind însă utilizaţi mai mult în scopuri speciale.

Dispozitive optoelectronice. Transmiterea informaţiilor prin intermediul fibrei optice implică două conversii: de la semnal electric la semnal luminos şi invers. Aceste conversii trebuie să se realizeze la frecvenţe mari şi cu un bun randament. De asemenea, un element care nu trebuie neglijat este acela că fiecare fibră optică are atenuarea minimă într-un anumit domeniu spectral, sursa adecvată fiind aceea care emite radiaţii ce se încadrează în limitele respective.

Se mai impune ca sursele să poată fi modulate în domeniul de frecvenţă 100 . . . 1 000 MHz iar cuplarea cu fibra optică să se realizeze cu pierderi cît mai reduse.

Sursele de lumină pot fi coerente — diode laser semiconductoare din arseniură de galiu (GaAs) sau alte structuri — şi necoerente — diode electroluminiscente şi superluminiscente, desigur, aceasta la sursele utilizate mai frecvent.

În ultimii ani, s-au făcut progrese foarte rapide în domeniul diodelor laser GaAlAs, au apărut, în 1988, primele diode laser pe bază de AlGaInP cu emisie în spectrul vizibil şi s-au realizat, de asemenea, recent, diodele laser acordabile, care permit, prin modificarea lungimii de undă a radiaţiei emise, selectarea uneia dintre sutele de canale ce pot fi transmise prin intermediul unei fibre optice. Preocupările producătorilor sînt îndreptate către mărirea puterii emise, a timpului de funcţionare şi a stabilităţii emisiei.

La lungimile de undă de 1,3 şi 1,55 μm, diodele laser InGaAlP au devenit chiar un standard pentru comunicaţiile prin fibre optice la mare distanţă. Un alt element de noutate îl constituie diodele laser cu feedback distribuit (DFB), care se produc astăzi de circa 10—12 companii, perspectivele de aplicare fiind în comunicaţii submarine şi televiziune prin cablu (CATV).

Desigur, în funcţie de destinaţia sistemului, se optează pentru tipul sursei optice. Astfel, pentru transmisii pe distanţe scurte se pot utiliza diodele emiţătoare de lumină (LED) care, spre deosebire de diodele laser, sînt mult mai ieftine, dar au şi un randament mai mic. În mod uzual, lungimea de undă emisă este cuprinsă între 0,4 şi 1,3 μm iar banda spectrală de 30—40 km.

Fascicolul emis este divergent, ceea ce duce şi la scăderea randamentului la cuplare, deci apare necesitatea utilizării unei fibre multimod cu apertură numerică mare.

Un alt avantaj oferit de utilizarea diodelor electroluminiscente constă în dependenţa mică a puterii emise faţă de temperatură — într-un interval de temperatură cuprins între —30° şi +70°C, în mod uzual, variaţia puterii la ieşire e mai mică de 2,5 dB.

Fotodetectorul — al doilea element activ utilizat într-un sistem optic — trebuie să aibă o mare sensibilitate, timpul de răspuns scurt, randament cît mai bun, curent de obscuritate şi capacitate reduse. Detectorii utilizaţi în mod uzual în sistemele cu fibre optice de înaltă performanţă sînt fotodiodele PIN şi fotodiodele avalanşe din InGaAs sau InGaAsP.

Cele mai performante dispozitive fabricate în lume la nivelul anului 1989 au curenţi de obscuritate mai mici de 1 A iar lărgimea de bandă de 80 GHz.

Scanned with OKEN Scanner

Fotodetectorii pot fi încapsulați în două moduri în funcție de domeniul lor de utilizare. Pentru aplicații la frecvențe înalte fotodetectorul trebuie să fie montat în imediata apropiere a amplificatorului, soluția adoptată fiind încapsularea moleculară cu „pigtail". În cazul frecvențelor mai mici se optează pentru sistemul cu conector, care oferă avantajul unor costuri mai reduse.

Pe plan mondial, au fost primite cu deosebit interes încercările de a dezvolta circuite integrate optoelectronice care, în perspectivă, vor oferi avantaje în ceea ce privește viteza de lucru, dimensiunile mai mici ale sistemului, fiabilitate crescută și cost mai redus în comparație cu montajele cu componente discrete. Deocamdată însă, de exemplu, un circuit optoelectronic integrat cu funcția de receptor optic, avînd dimensiunile $1{,}1 \times 1$ mm², produs în serie de firma japoneză „Matsushita Electric", este mai puțin rentabil din punct de vedere al costului față de un circuit cu componente discrete.

Tot în categoria dispozitivelor optoelectronice utilizate în construcția unui sistem de transmitere optică a informației se încadrează și cele de modulare, multiplexare, demultiplexare și demodulare a semnalului luminos.

Cea mai răspîndită metodă de modulare este modularea în intensitate a purtătoarei optice, instalațiile la emisie și recepție fiind simple. De exemplu, în cazul modulării purtătoarei cu un semnal digital, prezența purtătoarei corespunde bitului „1" iar absența-bitului „0".

Demodularea în acest caz se realizează prin detecție directă.

Modularea se mai poate realiza prin modificarea polarizării fazei sau a frecvenței purtătoarei optice.

Prin multiplexare, mai multe radiații avînd lungimile de undă $\lambda_1 \ldots \lambda_n$, corespunzător mai multor transmisii simultane, pot fi preluate de un singur conductor optic. La recepție, cele n lungimi de undă sînt separate pe cale optică, demodulate și recepționate la cele n porți.

6. Aspecte privind perspectivele de dezvoltare ale utilizării fibrelor optice

După unele estimări, în perioada următoare, utilizarea fibrelor optice în construcția rețelelor de date va cunoaște o dezvoltare considerabilă în țările industriale. Astfel, la începutul anului 1987, în Europa existau 298 000 utilizatori (conexiuni terminale) la diferitele sisteme de distribuire locală a datelor cu fibre optice, iar în ritmul actual de creștere se prevede că la sfîrșitul anului 1990 acest număr va fi de patru ori mai mare. De asemenea, se remarcă o tendință de creștere a numărului de computere ce sînt conexate într-un LAN. De la 20 de utilizatori, cîți participau la un LAN mic în urmă cu 2—3 ani, s-a ajuns la cifre de pînă la 200, în rețele care pot acoperi o arie de 10 km².

În orice caz, tendința de descentralizare a capacității de calcul din centre puternice în sisteme cu calculatoare distribuite și conectate în LAN va face ca sumele cheltuite anual pentru instalarea sistemelor cu fibre optice să fie, pentru țări ca Anglia, Franța sau RFG, de circa 100 milioane dolari.

Scanned with OKEN Scanner

În ceea ce privește televiziunea prin cablu (CATV) care se extinde în prezent aproape exclusiv pe seama instalării de sisteme cu fibre optice, pentru Europa, după unele previziuni, numărul de abonați va ajunge la 21 milioane, în 1991.

În Statele Unite se prevede că, în 1992, necesarul de fibre optice se va ridica la 3,2 milioane kilometri, echivalînd 2,9 miliarde de dolari, de la 774 milioane dolari cît a fost în 1986, cu o creștere anuală de circa 25%. Se apreciază că, în anul 1992, în acest ansamblu, diferitele domenii de aplicare vor avea ponderi după cum urmează: telecomunicații — 56%, sisteme de distribuire a datelor — 28,5%, armată — 13,5%, CATV — 2%. Creșterea bruscă a cererii în zona sistemelor de transmitere a datelor este efectul adoptării standardului care reglementează interfața pentru distribuirea datelor prin intermediul fibrelor optice (FDDI) și a altor norme care aduc la același numitor sistemele din categoria LAN și MAN.

Este evident că numeroasele avantaje de ordin tehnic pe care le oferă utilizarea fibrelor optice, concomitent cu tendința continuă de scădere a costurilor, sporirea performanțelor și simplificarea normelor de montaj și exploatare vor face ca în următorii ani domeniul să prezinte din ce în ce mai mult interes.

BIBLIOGRAFIE

Holmes M. Lewis. Commercial lasers 1988—1989. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

* * * Fiberoptics news and markets. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Musikant Solomon. Trends in optical materials. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Chalmers Jim. New optical aplications. În: Comunications Engineering International, Volumul 11, nr. 4, mai, 1989.

Page Bruce. The LAN-MAN evolution. În: Comunications Week International, 023, 24 iulie, 1989.

* * * Fibre optics market rawiew. În: Electro Optics, mai, 1987.

* * * Optical computing. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Fitchew Kenneth. Light work for submarine cables. În: Spectrum, nr. 9, 1985.

Ash Richard. Trands in sources and detectors. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Morrow J. Alan. Trends in optical fiber. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Denny E. Joseph. Trends in connector technology. În: Laser Focus World, ianuarie, 1989.

Hofmann R. Der Einstatz vun Endoskopen in der Industrie. În: Oz 32 (1987).

Ulsamer L. Licht-Efect Optische Übertragungssysteme für Maschinen-Applicationen. În: Electropraxis, nr. 12, decembrie, 1986.

Drimer, D., Vlad, C. Tehnologii pentru fibre optice. În seria: Tehnologii, calitate, mașini, materiale, vol. 5, Editura Tehnică, 1989.

Scanned with OKEN Scanner

12

Determinarea prelucrabilității prin deformare plastică la rece a materialelor metalice

Conf. dr. ing. *Mihai Teodorescu*
Universitatea din Galați

Procedeele de prelucrare prin deformare plastică la rece sînt acelea care se execută la temperaturi inferioare celei de recristalizare. Ele ocupă un loc distinct în cadrul industriei constructoare de mașini și aparate atît în ceea ce privește semifabricatele cît și tehnologiile de prelucrare, echipamentele tehnologice și utilajele folosite.

În urma acestor prelucrări rezultă de cele mai multe ori piese finite, într-o gamă foarte largă de forme și dimensiuni.

Semifabricatele folosite sînt, în general, produse ale industriei metalurgice, sub formă de table, benzi, profile, bare, țevi, sîrme și au avut un grad înalt de prelucrare, cu consum ridicat de energie.

În costul pieselor finite materialul prelucrat are o pondere de circa 60 . . . 75%, în unele cazuri chiar mai mult.

Specific acestor prelucrări este faptul că materialul este deformat plastic la rece cu grade mari de deformare, ca urmare a acțiunii unor forțe în general concentrate, care determină existența unor stări de tensiuni complexe.

Avînd în vedere aceste aspecte, este necesar ca materialul prelucrat să fie caracterizat și din punct de vedere al prelucrabilității.

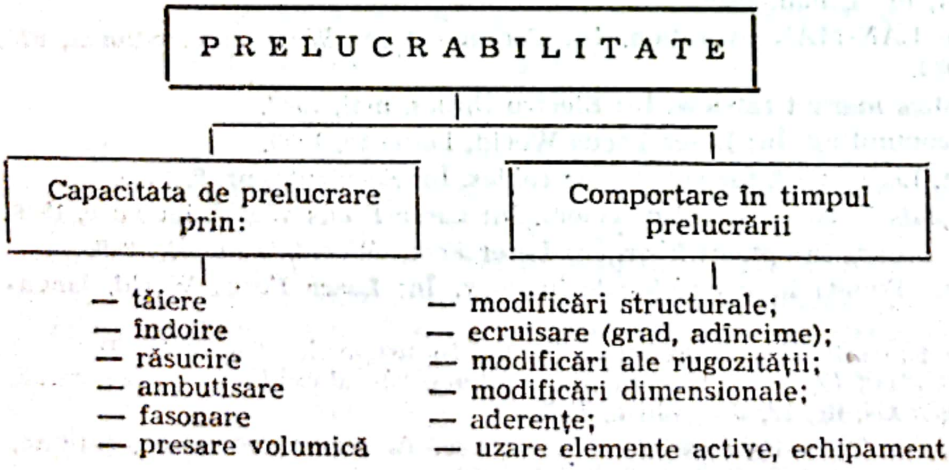


Fig. 12.1.

Prin prelucrabilitate (fig. 12.1) trebuie să se înțeleagă atît capacitatea unui material de a fi prelucrat printr-un anumit procedeu, cît și modul de comportare în timpul prelucrării.

Scanned with OKEN Scanner

Asigurarea unei prelucrabilități corespunzătoare este cerută tot mai mult pentru ca materialul să poată fi utilizat eficient la prelucrarea cu productivitate înaltă pe echipamente tehnologice complexe, instalate pe prese automate, prese cu transfer, linii automate și celule flexibile cu comandă program. Obținerea și utilizarea unor astfel de materiale pentru deformare plastică la rece conduce nu numai la realizarea pieselor cu caracteristici tehnico-funcționale cerute prin documentația lor de execuție, ci și ridicarea gradului de siguranță în funcționare a liniilor automate, a celulelor flexibile, a utilajelor de presare în general.

Aceasta trebuie analizată și prin prisma aspectelor economice ridicate de realizarea materialului respectiv.

De aceea, prelucrabilitatea trebuie analizată ținînd seama de corelația ce trebuie să existe între: materialul prelucrat — echipamentul tehnologic — utilaj — piesă obținută.

Realizarea unei prelucrabilități cerute este o problemă dificilă și, în perspectivă, ea trebuie analizată atît prin aspectele metalurgice cît și ale procesului de prelucrare în continuare, la beneficiarul semifabricatelor.

Prelucrabilitatea prin deformare plastică la rece va trebui să fie apreciată folosind două grupe de metode [6 . . . 10]: metode generale și metode speciale (fig. 12.2 și 12.3).

METODE GENERALE

Analiza chimică	Analiza microstructurii	Încercări mecanice
— compoziția chimică; — tipul aliajului; — microelemente; — incluziuni.	— tip de constituenți, faze; — forma și dimensiunile grăunților.	— limita de curgere; — rezistența la rupere; — duritate; — alungire specifică; — gîtuire.

Fig. 12.2.

METODE SPECIALE

Încercări	Mărime caracteristică	Parametrii legați de proprietățile intrinseci ale materialului
— tăiere; — îndoire; — fasonare; — ambutisare; — presare volumică	— forță de deformare; — rezistență de deformare; — grad admisibil de deformare; — joc dintre elementele active; — grad de uzură elementele active	— modulul de ecruisare; — indicele de anizotropie; — curbă limită de deformabilitate; — alți parametri

Fig. 12.3.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre procesele de prelucrare prin deformare plastică la rece, unele pun probleme deosebite pentru semifabricate. Acestea sînt procesele de ambutisare și fasonare pentru semifabricate sub formă de table și benzi și cele de extrudare și refulare pentru semifabricate sub formă de bare.

În cazul prelucrabilității prin ambutisare există cele mai multe metode de încercare, comparativ cu alte procedee de prelucrare; aceasta datorită complexității problemelor și a importanței teoretice și practice a rezultatelor obținute.

Pentru soluționarea unor probleme din acest domeniu, în 1960 s-a înființat un organism internațional, I.D.D.R.G. (International Deep Drawing Research Group), iar în 1971 a luat ființă, în U.R.S.S., un consiliu național pentru aceste probleme.

La noi în țară, studii amănunțite au fost realizate mai întîi la Institutul Politehnic din Brașov, sub conducerea prof. dr. ing. Ion Stănescu, care comunică, începînd din 1963, o serie de rezultate, iar în 1969 susține teza de doctorat în acest domeniu. La Universitatea din Galați, începînd din 1966, se efectuează cercetări sistematice în domeniul prelucrabilității metalelor și se elaborează o metodologie de încercare — UGAL [8, 9, 10].

Metoda UGAL vizează solicitarea semifabricatului conform procesului real de ambutisare, executîndu-se două grupe de încercări: a) ambutisarea unor semifabricate plane sub formă de probă cilindrică, în matriță cu reținere plană și b) ambutisarea semifabricatelor plane sub formă de probă cilindrică în matriță cu reținere combinată și determinarea rezervei capacității de ambutisare. Echipamentul specific acestei încercări a fost prezentat în [10].

La ambele încercări se ambutisează semifabricate cu diferite diametre $D=70\ldots130$ mm, sub formă de probă cilindrică cu diametrul $d=50$ mm.

Se determină coeficientul de ambutisare admisibil

$$m=d/D_{max}, \tag{1}$$

sau gradul de deformare admisibil

$$G_d=D_{max}/d, \tag{2}$$

în care D_{max} este diametrul semifabricatului la care ambutisarea se desfășoară fără ruperea probei cilindrice cu diametrul d.

În cazul ambutisării cu reținere combinată, utilizînd sistemul de blocare cu care este prevăzută instalația de încercare, se determină pe baza dependenței forță-cursă ce se înregistrează (fig. 12.4) valoarea rezervei capacității de ambutisare:

$$\%T=[(F_r-F_{a\,max})/F_r]\,100, \tag{3}$$

în care F_r este forța de rupere și F_{amax} — forța maximă de ambutisare.

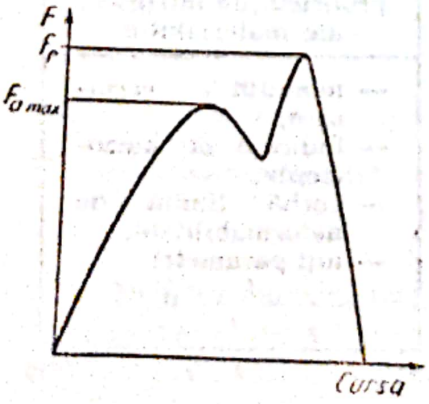


Fig. 12.4.

Scanned with OKEN Scanner

În comparație cu metoda Engelhardt [1, 2], la care se determină doar rezerva capacității de ambutisare la o valoare constantă a gradului de deformare (G_d=1,75), la metoda UGAL se poate determina gradul limită de deformare (G_d) sau coeficientul de ambutisare (m) în diferite condiții de lucru, iar rezerva capacității de ambutisare (T) rezultă în funcție de materialul, complexitatea reperului și tipul procesului de prelucrare, pentru diferite grade de deformare impuse.

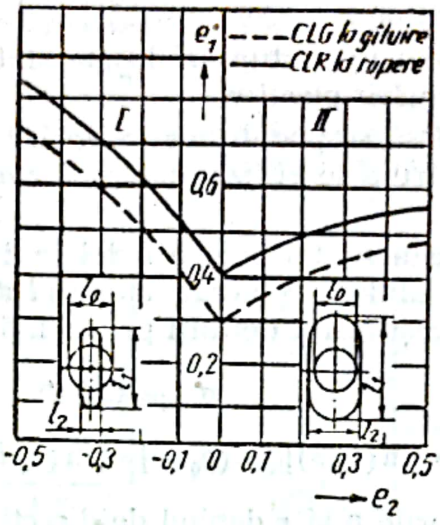


Fig. 12.5.

De exemplu, pentru table de ambutisare destinate caroseriilor auto, în cercetările întreprinse, s-a determinat rezerva capacității de ambutisare la un grad de deformare foarte mare, G_d=2,32, rezultînd pentru diferite calități și grosimi:

$$\%T = 7{,}8 \ldots 14{,}8.$$

În acest mod se poate determina, în cazul unor grade mari de deformare, valoarea rezervei capacității de ambutisare pe care o are materialul semifabricatului analizat.

Metoda curbelor limită de ambutisare (CLA) are la bază dependența ce se poate stabili între cele două deformații principale reale (e_1 — maximă și e_2 — minimă) din planul semifabricatului solicitat în condiții diferite de ambutisare sau întindere, pînă la apariția unei deformații locale mari (subțiere importantă, gîtuire) sau pînă la rupere și comportarea materialului în procesul real de ambutisare. Deformațiile reale din planul tablei pot fi ambele pozitive, egale sau neegale, precum și una pozitivă și cealaltă negativă, acoperind cele două domenii din fig. 12.5. Ele se determină folosind rețele de divizare, cu ajutorul cărora se calculează

$$e_1 = \ln(l_1/l_0) \quad \text{și} \quad e_2 = \ln(l_2/l_0), \tag{4}$$

în care l_1 și l_2 sînt dimensiunile maximă și minimă ale elementului rețelei după deformare, în vecinătatea ruperii, iar l_0 este dimensiunea inițială a rețelei.

Reprezentînd $e_1 = f(e_2)$ pentru zona în care apare ruperea sau gîtuirea, se obține curba limită la rupere (CLR) și respectiv la gîtuire (CLG) (fig. 12.5). CLG este mai greu de stabilit, deoarece deformația localizată (gîtuirea) este mai dificil de sesizat atît la încercările pe epruvete, cît și pe piesele reale.

Pentru ambutisarea pieselor complexe și asimetrice se folosesc semifabricate sub formă de tablă cu grosime mică, în general sub 2 mm și cel

Scanned with OKEN Scanner

mai des chiar sub 1 mm. Deoarece la ambutisare, după cum se cunoaşte, starea de tensiuni şi deformaţii este complexă şi cu un grad ridicat de neuniformitate, rezultă că abaterile de la grosime (în special subţierile din unele zone), eterogenitatea structurală, prezenţa unor incluziuni pot determina apariţia subţierii exagerate în această zonă şi imediat formarea fisurilor.

Acest pericol este cu atît mai mare cu cît zona respectivă este solicitată şi la tensiuni de întindere.

Rezultă că aceste perturbări locale sînt total nefavorabile în materialul supus deformării plastice.

Este necesar să se poată face încercări care să fie sensibile la astfel de perturbări pentru a se utiliza materiale corespunzătoare din acest punct de vedere.

Pentru aceasta se folosesc cei doi indici legaţi de proprietăţile intrinseci ale materialului prelucrat: *modulul de ecruisare (n) şi indicele de anizotropie (r)*. Aceştia sînt definiţi prin relaţiile:

$$\sigma_{real}=C\times\varepsilon^n \tag{5}$$

$$r=[\ln(b_0/b)]/[\ln(g_0/g)]=[\ln(b_0/b)]/[\ln(bL/b_0L_0)] \tag{6}$$

Intrucît valorile n şi r depind de direcţia de laminare, vor fi folosite probe orientate la 0°, 45° şi 90° faţă de aceasta şi vor fi calculate valorile medii cu relaţiile:

$$n_{med}=\left(\frac{1}{4}\right)(n_0+2n_{45}+n_{90}); \tag{7}$$

$$r_{med}=\left(\frac{1}{4}\right)(r_0+2r_{45}+r_{90}). \tag{8}$$

Se calculează şi valoarea anizotropiei plane:

$$\Delta_r=\left(\frac{1}{2}\right)(r_0+r_{90}-2r_{45}). \tag{9}$$

Acolo unde materialul este solicitat la întindere, dacă valoarea modulului de ecruisare este mare, deformaţiile critice sînt mari, valoarea deformaţiei uniforme pe care o poate suporta semifabricatul este mare, deci are loc o repartizare mai uniformă a deformaţiilor pe suprafaţa semifabricatului şi, ca urmare, creşte gradul de deformare. Pe zonele cu tensiuni de compresiune şi întindere, odată cu creşterea modulului de ecruisare se obţine o creştere a stabilităţii, evitîndu-se astfel formarea cutelor şi ondulaţiilor.

Valori mari ale indicelui de anizotropie (r) indică capacitatea materialului prelucrat de a opune rezistenţă mai mare la deformaţia pe grosime faţă de lăţimea sa, deci pericol mai redus de subţiere locală exagerată.

Dacă se analizează repartizarea deformaţiilor într-o piesă complexă sau asimetrică executată prin ambutisare din materiale cu aceeaşi compoziţie chimică, dar cu valori diferite ale indicelui de anizotropie, de exemplu: *a* — pentru $r=1{,}7$ şi *b* — pentru $r=1$, se constată că în cazul materialului cu indicele $r=1{,}7$ se obţin deformaţii mai uniform repartizate pe lăţimea piesei în comparaţie cu situaţia cînd materialul este izotrop (fig. 12.6).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se aprecia influența mare pe care o au la ambutisare *gradul de uniformitate a grosimii și de omogenitate a materialului*, se propun [11], următoarele relații:

a) pentru ambutisarea cu poanson cu zona frontală plană și reținere:

$$d\varepsilon_{cr}=7{,}4\ df-0{,}294\ dr_{med}+1{,}25\ dn_{med}-0{,}76 d\varepsilon_0; \tag{10}$$

b) pentru ambutisarea adîncă, cu grad mare de deformare:

$$d\varepsilon_{cr}=0{,}3\ df+0{,}13\ dr_{med}-0{,}27\ dn_{med}+0{,}15\ d\varepsilon_0, \tag{11}$$

în care

$$f=g_n/g_u, \tag{12}$$

iar g_n este grosimea tablei în zona deformațiilor mari, neuniforme, și g_u — grosimea tablei în zona deformațiilor mari, uniforme.

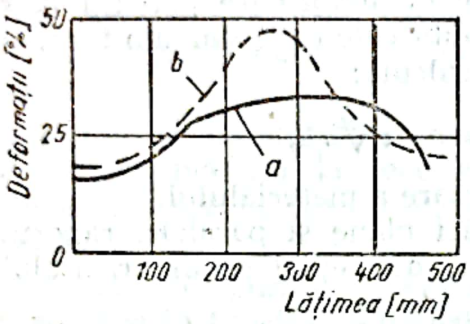


Fig. 12.6.

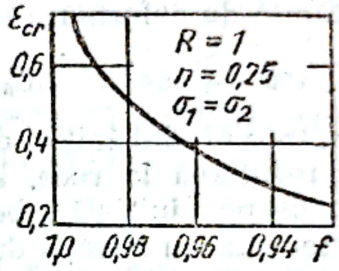


Fig. 12.7.

Cu cît raportul f este mai mic, cu atît deformația critică (ε_{cr}) admisă de materialul respectiv este mai mică (fig. 12.7, pentru $\varepsilon_0=0{,}05$).

Deformația critică reprezintă acea valoare a deformațiilor la care începe ruperea materialului prelucrat. Se poate calcula cu relația

$$\varepsilon_{cr}=[2/(2-a)]n\sqrt{1+a+a^2}, \text{ în care} \tag{13}$$

$$a=\sigma_2/\sigma_1=(\varepsilon_1+2\varepsilon_2)/(2\varepsilon_1+\varepsilon_2). \tag{14}$$

Compoziția chimică influențează hotărîtor asupra modulului de ecruisare. În acest sens, s-au stabilit unele relații de dependență. De exemplu, pentru un oțel feritic, sub formă de table, rezistent la coroziune, n_{med} se poate calcula cu relația

$$n_{med}=0{,}199-0{,}062\ C-0{,}016\ Mn+0{,}014\ Si-0{,}0005\ Cr-0{,}21\ Mo+$$
$$+0{,}0067\ Nb+1{,}12\ (C-0{,}097)^2-0{,}033\ (Nb-0{,}5)^2+$$
$$+0{,}089\ (C-0{,}097)\ (Cr-17). \tag{15}$$

Pentru oțelurile aliate, în stare recoaptă, influența principalelor elemente de aliere asupra modulului de ecruisare este dată de relația:

$$n_{med}=0{,}22-0{,}14\ Mo-0{,}04\ Cr-0{,}09\ Si-0{,}02\ Mn-0{,}01\ Ni+0{,}03\ C, \tag{16}$$

în care conținutul elementelor de aliere și de carbon este dat în % din masă.

Valoarea modulului de ecruisare prezintă importanță deoarece intră și în calculul parametrilor energetici ai proceselor de deformare plastică la rece.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, pentru calculul rezistenței la deformare:

$$R_{def}=C_1\cdot\varepsilon^n, \text{ în care} \tag{17}$$

$$C_1=1{,}83\,R_m+4, \tag{18}$$

în care R_m este rezistența la rupere la tracțiune.

Pentru calculul rezistenței la tăiere:

$$\tau_{real}=1{,}1\,K_c\cdot\frac{R_m(1+\varepsilon_r)}{\sqrt{3}}\left[\frac{\operatorname{arc\,tg}(e/j_u)}{\sqrt{3}\,(\varepsilon_r)_{real}}\right]^n, \tag{19}$$

în care $K_c=1{,}1\ldots1{,}3$, e este adîncimea de intrare a elementului activ mobil pînă apare fisura de forfecare, iar j_u — valoarea jocului unilateral dintre elementele active.

Valoarea modulului de ecruisare influențează asupra gradului de deformare limită la diferite procese de deformare plastică la rece. De exemplu, pentru evazarea unor semifabricate cave sau sub formă de țeavă, gradul limită de deformare se poate calcula:

$$G_{dev}=\varepsilon_{lim}=n-\varepsilon_i\sqrt{3}/2, \tag{20}$$

în care ε_i este gradul inițial de deformare a materialului.

La refularea la rece, între plăci plane și paralele, raportul limită dintre înălțimea inițială liberă (l_0) și diametrul semifabricatului (d_0) se poate determina în funcție de n:

$$G_{d\,ref}=l_0/d_0=2{,}24\sqrt{n}/a, \tag{21}$$

în care a depinde de modul de fixare a capetelor semifabricatului.

În general, se manifestă tendința ca pentru deformare plastică la rece să se utilizeze oțeluri și alte aliaje cu cea mai bună calitate din punct de vedere al caracteristicilor mecanice, capacității de deformare etc.

Pentru a se putea urmări implicațiile pe care le creează modificările compoziției chimice și ale unor indici de calitate asupra *costului semifabricatului,* se prezintă în continuare unele relații de calcul.

Luîndu-se în considerare numai influența compoziției chimice asupra costului, rezultă costul P_1

$$P_1=P_b+100\,[(C_e-C)-0{,}6]+6(S_e-S)+6(P-P_e)+K\,Al\ [lei/t]. \tag{22}$$

Dacă se ține seama și de influența cumulată a compoziției chimice și de calitatea suprafeței, rezultă relația

$$P=P_1+100\,R_a+357\,S_a\ [lei/t], \text{ adică} \tag{23}$$

$$P=P_b+100[(C_e-C)-0{,}6]+6(S_e-S)+6(P-P_e)+K\,Al+100\,R_a+357\,S_a$$

$$[lei/t], \text{ în care} \tag{24}$$

P_b este costul de bază (lei/t), C_e — conținutul de carbon — considerat etalon, în sutimi de procent ($C_e=0{,}12\%$), C — conținutul de carbon din oțelul analizat, în sutimi de procent, S_e, P_e — Conținutul de sulf, respectiv de fosfor, considerat etalon, în miimi de procent (S_e; $P_e=0{,}035\%$ fiecare), S, P — conținutul de sulf, respectiv fosfor, curent, în miimi de procent, Al — conținutul de aluminiu, în sutimi de procent, K — coeficient determinat de costul momentan al aluminiului (ex. $K=820$), R_a — coeficient determinat de valoarea rugozității suprafeței, care se stabilește

Scanned with OKEN Scanner

astfel: R_a=2, pentru rugozităţi peste 1,8 μm; R_a=3, pentru rugozităţi în limitele 1,2 ... 1,8 μm; R_a=4, pentru rugozităţi sub 1,2 μm; S_a — coeficientul determinat la starea suprafeţei: S_a=2, pentru suprafeţele de calitatea 04 şi S_a=1, pentru suprafeţe de calitatea 03, pentru oţeluri de tip A4 şi A5, conform STAS 10318—80.

Rezultă că reducerea conţinutului de C, S, P, Al şi a rugozităţii şi creşterea clasei de calitate a suprafeţei determină importante majorări ale costului semifabricatului de care va trebui să se ţină seama la stabilirea materialului în vederea prelucrării.

Prelucrabilitatea metalelor, în general, nu se mai poate aprecia printr-un singur indice; ea va trebui neapărat analizată ca o problemă globală.

Alături de metodele generale (analiza compoziţiei chimice, a microstructurii, a caracteristicilor mecanice) se vor folosi şi metode speciale de analiză. Acestea din urmă vor cuprinde probe de ambutisare şi determinarea unor indici ce depind de proprietăţile intrinseci ale materialului prelucrat.

La stabilirea materialului ce urmează a fi utilizat pentru prelucrare prin deformare plastică la rece este necesar să se ţină seama şi de aspectele economice legate de elaborarea, laminarea şi tratamentul termic în vederea obţinerii acestuia.

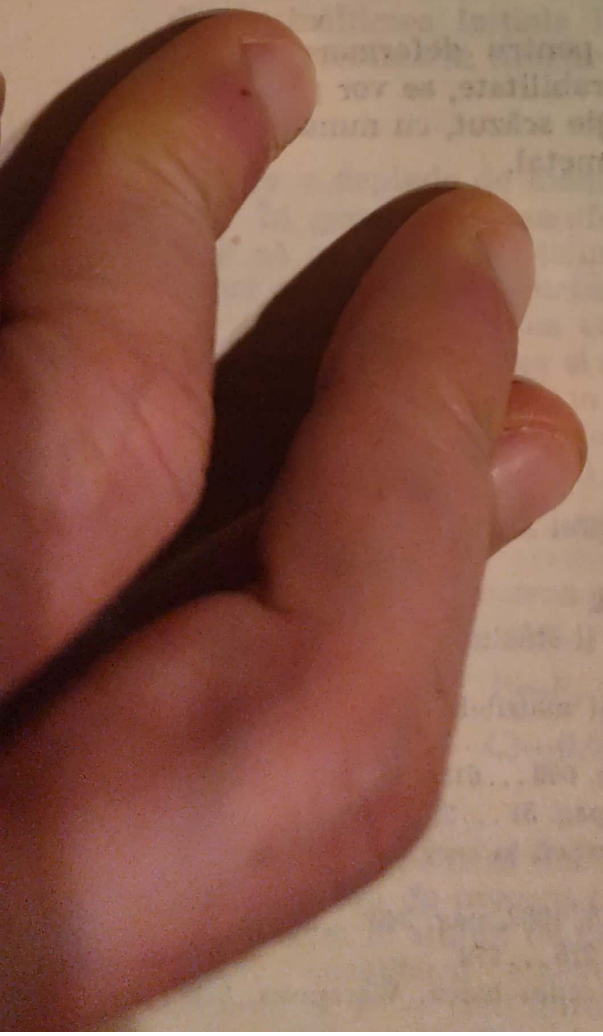
Utilizînd corespunzător semifabricatele pentru deformare plastică la rece, adică şi în funcţie de indicii de prelucrabilitate, se vor putea realiza piese de bună calitate, cu consum de energie scăzut, cu număr mic de rebuturi şi în felul acesta cu consum redus de metal.

BIBLIOGRAFIE

1. Stănescu, I. În: Buletinul ştiinţific, vol. VI, Institutul Politehnic Braşov, 1964.
2. Stănescu, I. Teză de doctorat. I. P. Bucureşti, 1969.
3. Steţiu, G. Teză de doctorat. I. P. Cluj-Napoca, 1971.
4. Gâdea Suzana, Petrescu Maria. Metalurgie fizică şi studiul metalelor. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1979.
5. Lăzărescu, I. şi Steţiu, G. Proiectarea ştanţelor şi matriţelor. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1974.
6. Teodorescu, M. În: Metalurgia, 38, 1986, nr. 12, pag. 609 ... 613.
7. Teodorescu, M. ş.a. În: Metalurgia, 37, 1985, nr. 1, pag. 31 ... 35.
8. Teodorescu, M. ş.a. Prelucrări prin deformare plastică la rece. Vol. I. Bucureşti, Editura Tehnică, 1987.
9. Teodorescu, M. În: Construcţia de maşini, 34, nr. 5, 1982, pag. 349 ... 355.
10. Teodorescu, M. În: Metalurgia, 31, 1979, nr. 6, pag. 276 ... 279.
11. Marciniak, Zd. Odksztalcenia graniczne przy tloczeniu blach. Warszawa, WNT, 1974.
12. Laşcu-Simion, N., Teodorescu, M. Tendinţe în dezvoltarea oţelurilor pentru deformare la rece. În: TCMM, nr. 1, 1987, pag. 168 ... 173.
13. Keller, S. P. şi Beckofen, W. A. În: Trans of A.S.M., 56, 1963, pag. 25 ... 48.

Scanned with OKEN Scanner

14. Goodwin, G. M. În: Machinery, 1968, Feb., p. 90 ... 95, March, p. 94 ... 101, April, p. 94 ... 103, May, p. 92 ... 99, June, p. 38 ... 104, July, p. 78 ... 83.
15. Hașek, V. În: Blech., 25, 1978, p. 213 ... 220.
16. Philippe, M. I. ș.a. În: Matériaux et Techniques, 1985, p. 33 ... 37.
17. Averkiev, A. În: Kuznecino — štramporocinoe proizvodstvo, nr. 10, 1987, p. 6 ... 8.



Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

V

TEHNOLOGII DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ

Scanned with OKEN Scanner

13

Procedeu și instalație pentru depunerea cromului electrolitic

Ing. *Gabriel Năstase*
Intreprinderea „Hesper"

Procedeul și instalația permite depunerea cromului electrolitic pe piesa cu profil geometric complicat, care prezintă canale înguste și adînci utilizate îndeosebi în domeniul construcțiilor de mașini.

Se cunosc și alte procedee de cromare dură a suprafețelor profilate care constau, în principal, în utilizarea de anozi ficși cu configurație geometrică adecvată montați la distanțe de 80 ... 120 mm față de catod, iar procesul de cromare are loc într-un electrolit clasic sau cu adausuri speciale, la o temperatură de 52 ... 60°C și la o densitate de curent de 45 ... 55 A/dm^2.

Dezavantajele acestor procedee sînt caracterizate printr-o depunere neuniformă din punct de vedere al repartiției grosimii; randamentul catodic de curent scăzut; tensiune mică de descărcare a gazelor, care provoacă fragilizarea metalului de bază sau pori de depunere; nu se realizează pătrunderea depunerii de crom în cantități parțial închise, înguste și adînci; variația concentrației de Cr^{6+} în vecinătatea catodului.

Scopul instalației prezentate este de a înlătura unele dezavantaje ale unor procedee și de a realiza o repartiție a cîmpului electric pe întreaga suprafață catodică care urmează să fie acoperită cu crom dur, precum și pentru obținerea unor concentrații constante ale ionilor de Cr^{6+} în stratul pericatodic. În acest sens se utilizează anozi circulari cu suprafață egală cu 1 : 1 pînă la 1 : 2 din suprafața catozilor amplasați în centrul sau extremitățile cavității, anozi care se mișcă continuu cu viteză uniformă, astfel încît să asigure agitarea permanentă a electrolitului; în spațiul catodic distanțele dintre electrozi sînt cuprinse între 5 ... 20 mm.

Un alt scop este și acela de realizare a unor depuneri de crom microcristalin, aderente, dure și cu grosime uniformă pe piese cu profil geometric complicat care prezintă canale înguste și adînci.

O altă problemă rezolvată este aceea a stabilirii unor raporturi funcționale între suprafețele anozilor și catozilor și a unui mod de poziționare a acestora.

Instalația de cromare este alcătuită dintr-o cuvă de electroliză, cu dispozitiv de cromare și un agregat hidraulic de acționare, dispozitivul de cromare fiind la rîndul său alcătuit dintr-un cadru de susținere, un ax central, anozi rotitori, un motor de antrenare, o placă rotitoare, un angrenaj cu roți dințate, o placă fixă de centrare și un inel de centrare.

Procedeul de depunere a cromului electrolitic la distanțe reduse între electrozi constă în pregătirea suprafeței, într-o primă etapă, prin degresare în solvenți organici, după care are loc montarea anozilor pentru

Scanned with OKEN Scanner

cromare (respectiv a catozilor pentru atac anodic) cu suprafața egală cu 1/2 ... 1/1 din suprafața catodică, care se amplasează în centrul cavității care urmează să fie cromată, sau în extremitățile acesteia, la distanțe de 5 ... 20 mm de catod și care se mișcă continuu circular, cu viteză uniformă. Părțile exterioare ale catodului, care nu se cromează, sînt prevăzute cu ecrane conducătoare.

Pe anozi se montează distanțiere sub formă de pastile din material izolant, care asigură menținerea distanței constante dintre electrozi și care au și efect de ecranare a liniilor de curent din spațiul catodic închis.

Piesele ce urmează a fi cromate se degresează într-o soluție alcalină de exemplu: 20 g/hidroxid de sodiu, 20 g/l fosfat trisodic, 10 g/l silicat de sodiu, 2—3 g/l agent tensioactiv la 60°C și timp de 1—5 min se spală și se introduc în baia de cromare care conține 280—350 g/l anhidridă cromică 2,8—3,5 g/l acid sulfuric și maxim 17 g/l crom trirolent plus fier.

După încălzirea în electrolit (fără conectare la sursa de curent) timp de 15—30 min și pornirea sistemului de rotire uniformă, piesele se activează inițial prin atac anodic în electrolitul de cromare timp de 8—10 min, la o densitate de curent de 12—20 A/dm² și temperatura de 50 ... 65°C. În timpul atacului catodul se deplasează cu o frecvență de rotație de 2 ... 5 rot/min; la sfîrșitul procesului de atac anodic se inversează polaritatea, astfel încît catodul este conectat la polul negativ al sursei, iar anodul la polul pozitiv.

Urmează cromarea în electrolitul prezentat mai sus la o densitate de curent de 20 ... 45 A/dm², temperatura de 50 ... 65°C și timp variabil, în funcție de grosimea impusă stratului de crom. În timpul procesului de cromare, anozii se rotesc continuu cu turația inițială.

În acest scop se mai pot utiliza și electrozi speciali cu autoreglare; electroliții au anhidridă cromică, 18 ... 20 g/l; fluorsilicat de potasiu, 0,8 ... 1,2 g/l; sulfat de stronțiu 9 ... 11 g/l; bicromat de potasiu, 2,5 g/l; cromat de stronțiu la o densitate de curent de 50 ... 70 A/dm și o temperatură de 50 ... 60°C. De asemenea, se pot utiliza și alți electroliți cu randament mare de depunere.

La sfîrșitul procesului de cromare se deconectează catodul și anodul de la sursa de curent, se oprește mișcarea anodului, apoi piesa cromată se spală în apă rece și apă caldă, după care se usucă prin suflare cu aer.

Instalația pentru depunerea cromului electrolitic, la distanțe reduse între electrozi, este alcătuită în principal dintr-o cuvă de electroză A (baia de cromare), un dispozitiv la cromare B și un agregat hidraulic de rotire C (Fig. 13.1, *a*, *b* și *c*).

Cuva de electroliză *A* este o cuvă obișnuită de cromare, iar dispozitivul *B* de cromare este alcătuit în principal dintr-un cadru de susținere *1*, un ax central *2*, anozii rotitori *3*, un motor de antrenare *4*, o placă rotitoare *5*, un dispozitiv cu roți dințate *6* ce permite antrenarea, de la agregatul hidraulic, a cuvei de electroliză, o placă fixă de centrare *7*, patru șuruburi orizontale de fixare *8*, un inel de centrare *9*, două șuruburi verticale de fixare *10* și două șuruburi pentru inelul de centrare *11*.

Agregatul hidraulic *C*, de rotire constantă a axului dispozitivului și, implicit, a anozilor este alcătuit din următoarele componente: un motor hidraulic rotativ M_H care dă mișcarea de rotație a anozilor, un rezervor de ulei *R*, pe care este amplasat un bloc hidraulic R_h, o supapă

Scanned with OKEN Scanner

de siguranță S_s, un robinet R_M cu un manometru M, un distribuitor hidraulic D, două supape de șoc și cavitație S_{P1} și S_{P2}, un regulator de debit R_D, un schimbător de căldură (răcitor de ulei) S_c, un ventil electromagnetic V_{EM}, un termometru manometric T_m, un filtru de retur F_r, o pompă cu pistonașe axiale cu debit variabil P_v, un motor electric m și un filtru de umplere și aerisire F_{ua}.

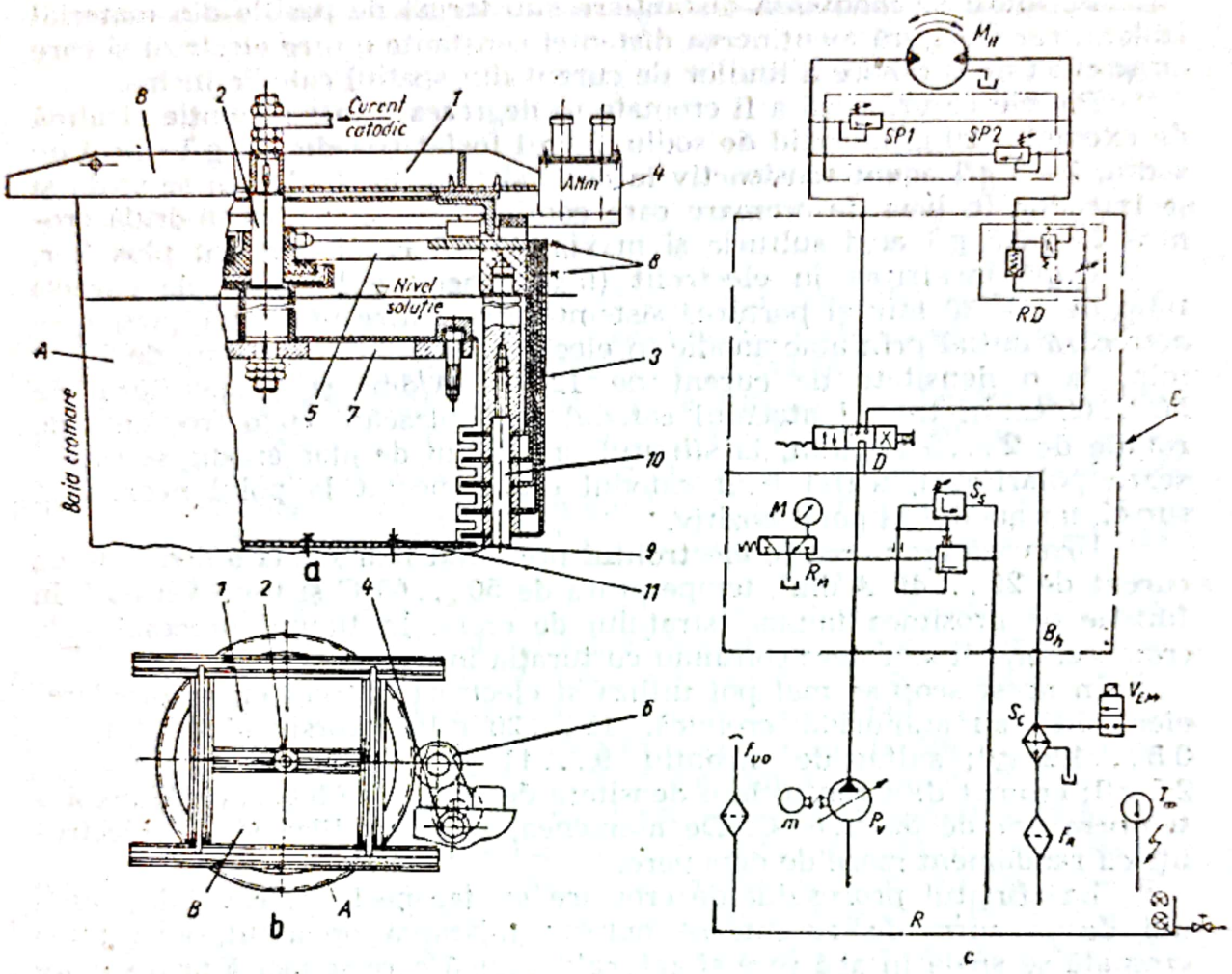


Fig. 13.1. Instalație de cromare.

Funcționarea instalației este realizată de grupul hidraulic, care prin intermediul lichidului de lucru antrenează motorul hidraulic montat pe dispozitivul cu roți dințate. Acesta, la rîndul său, pune în funcțiune — rotește — axul dispozitivului de cromare și al anozilor.

Legătura de la motorul hidraulic la grupul hidraulic de acționare se face prin conducte metalice. Blocul hidraulic pe care sînt montate aparatele hidraulice are rolul de a livra uleiul (lichidul de lucru) la o presiune constantă, presiune reglată de supapa de siguranță S_s și controlată de robinetul manometric R_M și manometrul M.

Cu distribuitorul D se comandă distribuția lichidului de lucru pe circuitul de alimentare a motoarelor hidraulice. Pentru a se preîntîmpina fenomenul de șoc și cavitație s-au montat supapele S_{p1} și S_{p2}, iar pentru reglarea debitului de lucru (care reglează viteza de rotație a motorului hidraulic) s-a montat regulatorul de debit R_D care asigură menținerea constantă a debitului reglat.

Scanned with OKEN Scanner

Pe circuitul de retur al agregatului hidraulic s-a montat un schimbător de căldură (răcitor de ulei), S_c avînd rolul de a păstra temperatura constantă a uleiului hidraulic în instalație.

Circuitul apei de răcire în răcitor se face cu ajutorul ventilului electromagnetic V_{EM}, care primește semnalul de comandă de la termometrul manometric T_M.

Pentru purificarea mediului hidraulic s-a montat, pe același circuit, un filtru de retur, F_p. Asigurarea debitului de ulei în circuit se face cu ajutorul pompei cu pistonașe axiale și debit variabil P_v, antrenate de motorul electric m.

Umplerea rezervorului de ulei se face prin filtrul de umplere și aerisire F_{um} care asigură în același timp și legătura rezervorului de ulei cu mediul ambiant.

Procedeul tehnologic astfel conceput pentru operația de cromare presupune și o operație pregătitoare a pieselor ce urmează a fi supuse cromării. Astfel capul pistolului introdus în dispozitiv se degresează în solvenți organici, apoi în soluție alcalină (de exemplu: 20 g/l hidroxid de sodiu, 20 g/l carbonat de sodiu, 20 g/l fosfat trisodic, 10 g/l silicat de sodiu, 2—3 g/l agent tensioactiv la 60°C timp de 1—5 min). După spălare, dispozitivul cu capul piston montat se introduce în baia de cromare cu compoziția 280 ... 350 g/l anhidridă cromică, 2,1 ... 3,5 g/l acid sulfuric maxim 17 g/l crom trivalent plus fier, unde, după aproximativ 15—30 min, necesare încălzirii acestuia, se acționează motorul 4 pentru mișcarea anozilor.

Pentru acționarea suprafeței care urmează să se cromeze, aceasta este supusă unui proces de atac anodic prin conectarea la polul pozitiv al sursei, iar a anodului, la polul negativ. Procesul de atac anodic se realizează la o densitate de curent de 15 A/dm², timp de 8 ... 10 min în electrolitul de cromare, la temperatura de 60 ... 62°C. În timpul procesului de atac anodic, ca și în timpul electrolizei care urmează, catodul respectiv anodul au o mișcare continuă cu o frecvență de rotație de 3 ... 4 rot/min.

La sfîrșitul procesului de atac anodic se inversează polaritatea astfel încît catodul să fie conectat la polul negativ al sursei, iar anodul la polul pozitiv, după care începe procesul de cromare, care are loc la aceeași temperatură și densitate de curent 20 ... 25 A/dm². În aceste condiții, viteza de depunere a cromului este de 18 ... 25 μm/min. La sfîrșitul procesului de cromare se oprește mișcarea anodului, se spală ansamblul sub jet de apă rece și se demontează dispozitivul anodic. Piesa cromată astfel obținută se spală sub jet de apă rece, apoi cu apă caldă și se usucă cu aer comprimat.

Respectarea procesului tehnologic conduce la: o depunere uniformă a cromului pe piesă (pe flancurile canalelor), o aderență perfectă, o structură microcristalină neporoasă și o duritate de 900 ... 920 HV 0,050.

Avantajele procedeului și instalației pentru depunerea cromului electrolitic, la distanțe reduse între electrozi, sînt date de realizarea unor straturi de crom dure aderente, cu grosime uniformă în canale adînci și înguste, la distanță anod-catod de 5 ... 20 mm; se menține constantă distanța anod-catod, prin utilizarea unor distanțiere neconducătoare din punct de vedere electric; asigură o distribuție uniformă a liniilor de curent, prin mișcarea continuă cu frecvență de rotație, uniformă, a anozilor de 3 ... 4 rot/min în timpul electrolizei și utilizarea unor ecrane conducătoare pentru zonele care nu se cromează și a unor anozi cu suprafața de 1/2 ... 1/1

Scanned with OKEN Scanner

din suprafața care se cromează, amplasați în centrul sau la marginile canalelor; asigură rotirea constantă a dispozitivului anodic printr-un control permanent asupra frecvenței de rotație a motorului, care se realizează prin montajul hidraulic realizat și care constituie agregatul de rotire, unde presiunea, debitul și temperatura lichidului de lucru se mențin în permanență constante.

Procedeul și instalația descrisă reprezintă o noutate absolută pe plan național și pe plan mondial și se aplică cu rezultate bune la Întreprinderea Mecanică Reșița la construcția de motoare navale. Extinderea aplicațiilor se poate face și în domeniul auto, aviație, nuclear precum și în alte domenii.

Piesele ce pot fi cromate prin acest procedeu pot fi de trei tipodimensiuni (tabelul 13.1).

Tabelul 13.1. **Tipodimensiunile pieselor care pot fi cromate**

Diametrul (∅) mm	Înălțimea H mm	Greutatea G kg
550	450	400
700	550	600
900	650	800

Baia de cromare în exemplul dat are următoarele dimensiuni de gabarit: Diametrul $\varnothing = 1\,850$ mm și înălțimea $H = 1\,100$ mm. Aplicarea procedeului de cromare realizează o economie valorică de 210 000 lei pentru fiecare set de pistoane cromate.

Scanned with OKEN Scanner

14

Scule aşchietoare cu plăcuţe ceramice pentru prelucrarea lemnului

Ing. *Radu Negriu*
Ing. *Ion Radu*
Institutul de Cercetări şi Proiectări pentru Utilaje şi Piese de Schimb
I.C.P.U.P.S. Bucureşti

1. Materiale noi destinate sculelor pentru prelucrarea mecanică a lemnului [2]

Realizarea sculelor pentru prelucrarea materialelor, cu performanţe cît mai înalte, din materiale uşor accesibile în ţara noastră, în condiţii de eficienţă economică maximă, constituie o preocupare în plină desfăşurare în cercetarea ştiinţifică.

Autorii acestui articol prezintă preocupările şi realizările cercetării ştiinţifice din ţara noastră în domeniul sculelor cu plăcuţe ceramice pentru prelucrarea materialelor lemnoase. Orientarea spre acest domeniu a fost stimulată şi de constatarea că la nivelul anului 1986 în S.U.A. şi Japonia 70% din totalul sculelor sînt cu ceramică, în R.F.G. — 60% iar în Franţa — 15%. De asemenea, argumente aduse în acest sens sînt prevederile de viitor în creşterea continuă a producţiei de scule ceramice în S.U.A., astfel: anul 1990 — 846 milioane dolari; anul 1995 — 846 milioane dolari; anul 2000 — 1 620 milioane dolari [16].

Din cercetările teoretice şi experimentale întreprinse de autorii acestui articol a reieşit că ceramica de aşchiere poate fi utilizată într-o proporţie foarte mare la prelucrarea materialelor stratificate din lemn în condiţiile obţinerii unor rezultate tehnice similare cu cele obţinute la utilizarea sculelor cu carburi metalice, dar cu o eficienţă economică superioară.

Materialul realizat pe bază de carburi metalice sintetizate este un material deficitar şi costisitor, o serie de elemente constituente ale acestuia, cum ar fi: oxidul de wolfram şi cobaltul sînt materiale scumpe, provenite din import, în timp ce materialul ceramic sintetizat are o mare accesibilitate la materii prime indigene, astfel: oxidul de aluminiu, oxidul de crom, dioxid de siliciu, oxidul de mangan şi de magneziu fiind mult mai ieftine, cu proprietăţi fizico-mecanice care îl recomandă la construcţia plăcuţelor pentru sculele de prelucrare a semifabricatelor din lemn.

În tabelul 14.1 se dau caracteristici fizico-mecanice de aşchiere, în paralel cu alte materiale de aşchiere disponibile utilizate în prezent la sculele de prelucrare mecanică a materialului lemnos.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.1. **Caracteristici fizico-mecanice**

Materialul			Oțeluri		Carburi	
Proprietăți	Simbol	Unități de măsură	OLC 45	Oțel rapid	P 10	P 30
Densitatea	γ	g/cm³	7,85	8,65	10,7	12,6
Porozitatea	P	%	—	—	—	—
Modulul de elasticitate	E	N/mm²	$21 \cdot 10^4$	$21 \cdot 10^4$	$53 \cdot 10^4$	$54 \cdot 10^4$
Duritatea Vickers	HV	daN/mm²	700	800	1600	1900
Duritatea Knoop	HK	daN/mm²	500	600	1680	1950
Rezistența la compresiune	R_c	MPa	600	3900	5200	4600
Rezistența la încovoiere	R_i	MPa	700	3700	1300	1900
Rezistența la întindere	R_m	MPa	600	—	1000	—
Conductivitatea termică	λ	W/m°K	—	0,087	0,07	0,14
Coeficientul de dilatare termică	α	$10^{-6}K^{-1}$	11,2	12	6,5	5,5
Rezistența la șoc termic	R_1	°C	—	—	—	—
Temperatura de topire	T_t	°C	1530	1670	2600	2600

2. Materiale ceramice de așchiere folosite la fabricarea instrumentelor de prelucrare mecanică a lemnului [1]

Compușii ceramici folosiți la sculele așchietoare sînt alcătuiți în principal (99,9%) din microparticule de oxid de aluminiu ce constituie ceramica așchietoare „albă". Pe lîngă acestea există și alte ceramici, cele „colorate", care alături de oxidul de aluminiu, materialul de bază (85 . . . 95%) din rețeta de masă ceramică, la care s-au aditivat adaosuri oxidice, care îmbunătățesc procesul de difuzie în timpul sinterizării și implicit proprietățile fizico-mecanice ale plăcuțelor așchietoare [4; 17].

Aceste amestecuri fondante au rolul de modificator, reducînd temperatura de sinterizare și frînarea procesului de creștere a particulelor. Dintre acești modificatori se menționează o serie de oxizi ai metalelor cu

Scanned with OKEN Scanner

ale materialelor aşchietoare [5; 18]

metalice sinterizate			Ceramice	Metalo-ceramic		Azotură cubică de bar	Diamant policristalin	Diamant natural
M 10	K 10	K 40	Al_2O_3	Al_2O_3+ +TiC	Al_2O_3+ +WC	NCB	PCD	C
13,1	14,8	14,3	3,95	4,25	4,30	3,40	3,50	3,52
—	—	—	2,50	1,5 ... 2,5	1,5 ... 2,5	2,50	—	—
$58 \cdot 10^4$	$63 \cdot 10^4$	$58 \cdot 10^4$	$39 \cdot 10^4$	$36 \cdot 10^4$	$43 \cdot 10^4$	$68 \cdot 10^4$	$96 \cdot 10^4$	$90 \cdot 10^4$
1700	1650	1300	2400	3000	1700	6000	7000	9000
1730	1680	1400	2300	3100	1890	6500	8000	8500
6000	5800	4500	4000	4500	3900	1785	1988	2000
1350	1500	4500	500	600	550	550	1100	300
—	—	—	300	—	—	450	1200	—
0,12	0,25	0,16	21	38	—	—	38	38
5,5	5,0	5,5	7,3	7,0	7,2	3,6	1	1
—	650	—	200	500	500	—	1000	1000
2600	2680	2680	2050	2000	2000	2350	3500	3100

valenţa inferioară (Ca^{2+}; Mg^{2+}; Be^{2+}; Mn^{2+}; Sn^{2+}; Ba^{2+}; Ni^{2+}), egală (Cr^{3+}; V^{3+}; Fe^{3+}) sau superioară (Ti^{4+}; Si^{4+}; Zr^{4+}; P^{5+}) celei a ionilor de Al^{3+}.

Ceramica „albă“ [3] de aşchiere, deşi prezintă unele proprietăţi mecanice utile aşchierii materialelor metalice datorită particularităţilor geometriei cuţitelor de prelucrare prin aşchiere a produselor din lemn stratificat nu a dat rezultate satisfăcătoare.

Autorii acestui articol au analizat în condiţii de laborator ceramica „colorată“ care a dat rezultate bune în condiţiile de aşchiere impuse produselor din lemn stratificat.

Experimentările au scos în evidenţă avantajele masei ceramice AT 8, elaborată de autorii acestui articol, preparată din materii prime existente în ţara noastră, relativ uşor de procurat, la care masa ceramică de tăiere este constituită din microparticule din oxid de aluminiu la care se adaugă cantităţi infime de oxizi (Mg; Ti; Cr; Ca) cît şi alcalii [4, 6, 20].

Scanned with OKEN Scanner

ale materialelor aşchietoare [5; 18]

metalice sinterizate			Ceramice	Metalo-ceramic		Azotură cubică de bar	Diamant policristalin	Diamant natural
M 10	K 10	K 40	Al_2O_3	Al_2O_3+ +TiC	Al_2O_3+ +WC	NCB	PCD	C
13,1	14,8	14,3	3,95	4,25	4,30	3,40	3,50	3,52
—	—	—	2,50	1,5 ... 2,5	1,5 ... 2,5	2,50	—	—
$58 \cdot 10^4$	$63 \cdot 10^4$	$58 \cdot 10^4$	$39 \cdot 10^4$	$36 \cdot 10^4$	$43 \cdot 10^4$	$68 \cdot 10^4$	$96 \cdot 10^4$	$90 \cdot 10^4$
1700	1650	1300	2400	3000	1700	6000	7000	9000
1730	1680	1400	2300	3100	1890	6500	8000	8500
6000	5800	4500	4000	4500	3900	1785	1988	2000
1350	1500	4500	500	600	550	550	1100	300
—	—	—	300	—	—	450	1200	—
0,12	0,25	0,16	21	38	—	—	38	38
5,5	5,0	5,5	7,3	7,0	7,2	3,6	1	1
—	650	—	200	500	500	—	1000	1000
2600	2680	2680	2050	2000	2000	2350	3500	3100

valenţa inferioară (Ca^{2+}; Mg^{2+}; Be^{2+}; Mn^{2+}; Sn^{2+}; Ba^{2+}; Ni^{2+}), egală (Cr^{3+}; V^{3+}; Fe^{3+}) sau superioară (Ti^{4+}; Si^{4+}; Zr^{4+}; P^{5+}) celei a ionilor de Al^{3+}.

Ceramica „albă" [3] de aşchiere, deşi prezintă unele proprietăţi mecanice utile aşchierii materialelor metalice datorită particularităţilor geometriei cuţitelor de prelucrare prin aşchiere a produselor din lemn stratificat nu a dat rezultate satisfăcătoare.

Autorii acestui articol au analizat în condiţii de laborator ceramica „colorată" care a dat rezultate bune în condiţiile de aşchiere impuse produselor din lemn stratificat.

Experimentările au scos în evidenţă avantajele masei ceramice AT 8, elaborată de autorii acestui articol, preparată din materii prime existente în ţara noastră, relativ uşor de procurat, la care masa ceramică de tăiere este constituită din microparticule din oxid de aluminiu la care se adaugă cantităţi infime de oxizi (Mg; Ti; Cr; Ca) cît şi alcalii [4, 6, 20].

Scanned with OKEN Scanner

Masa ceramică, AT 8, experimentată prezintă următoarele caracteristici:

— materia primă de bază . . . Al_2O_3 (puritate 99,9%);
— finețea medie a pulberii . . . sub 3 μm;
— densitatea aparentă . . . 3,52 . . . 3,65 g/cm³;
— porozitatea aparentă . . . 0,19%;
— duritatea de zgîriere Mohs calculată . . . 9,03 HM;
— duritatea de penetrație . . . 78 . . . 83 HRA;
— rezistența la încovoiere statică . . . 380 . . . 460 MPa;
— rezistența la șoc mecanic . . . 0,06 . . . 0,08 daNm/cm²;
— rezistența la compresiune . . . 1 700 . . . 2 800 MPa.

3. Tehnologia de fabricare a plăcuțelor ceramice [3, 12, 13, 15, 20]

La această tehnologie se îmbină experiențele producătorilor de plăcuțe din carburi metalice sinterizate alăturate producătorilor ceramicii superaluminoase de înaltă puritate.

Autorii acestui articol au experimentat și realizat, urmărind fluxul tehnologic prezentat în fig. 14.1, un număr de peste 20 de variante de mase ceramice.

Materiile prime care intră în componența acestora, adică pulberea de oxid de aluminiu și oxizii cu rol modificator, trebuie să fie astfel măcinate ca peste 60% din granule să aibă diametrul sub 1 μm, avînd compoziția granulometrică dată în tabelul 14.2.

Tabelul 14.2. **Compoziția granulometrică a pulberii utilizate la fabricarea plăcuțelor ceramice**

Nr. crt.	Diametrul particulei μm	Ponderea	
		%	Cumulat %
1	1	61,3	61,3
2	1,5	5,3	66,6
3	2	10,4	77
4	3	9,8	77,8
5	4	8,5	86,3
6	6	7,6	93,9
7	8	3,5	97,4
8	12	1,0	99,3
9	16	0,7	100,0

Operațiile de omogenizare-amestecare umedă va fi asigurată folosindu-se o moară cu bile din aluminiu care nu introduc impurități în masa ceramică. Masa omogenizată este uscată.

În această pulbere se introduce proporția de liant volatil (10%) în soluție 1% alcool polivinilic, amestecul omogenizat prin sitare este supus operației de aglomerare-fasonare. Această operație constă în etapele — dozarea pulberii, pregătirea matriței de presare, introducerea pulberii în cuibul de presare, aglomerarea prin presare. Presarea poate fi realizată,

Scanned with OKEN Scanner

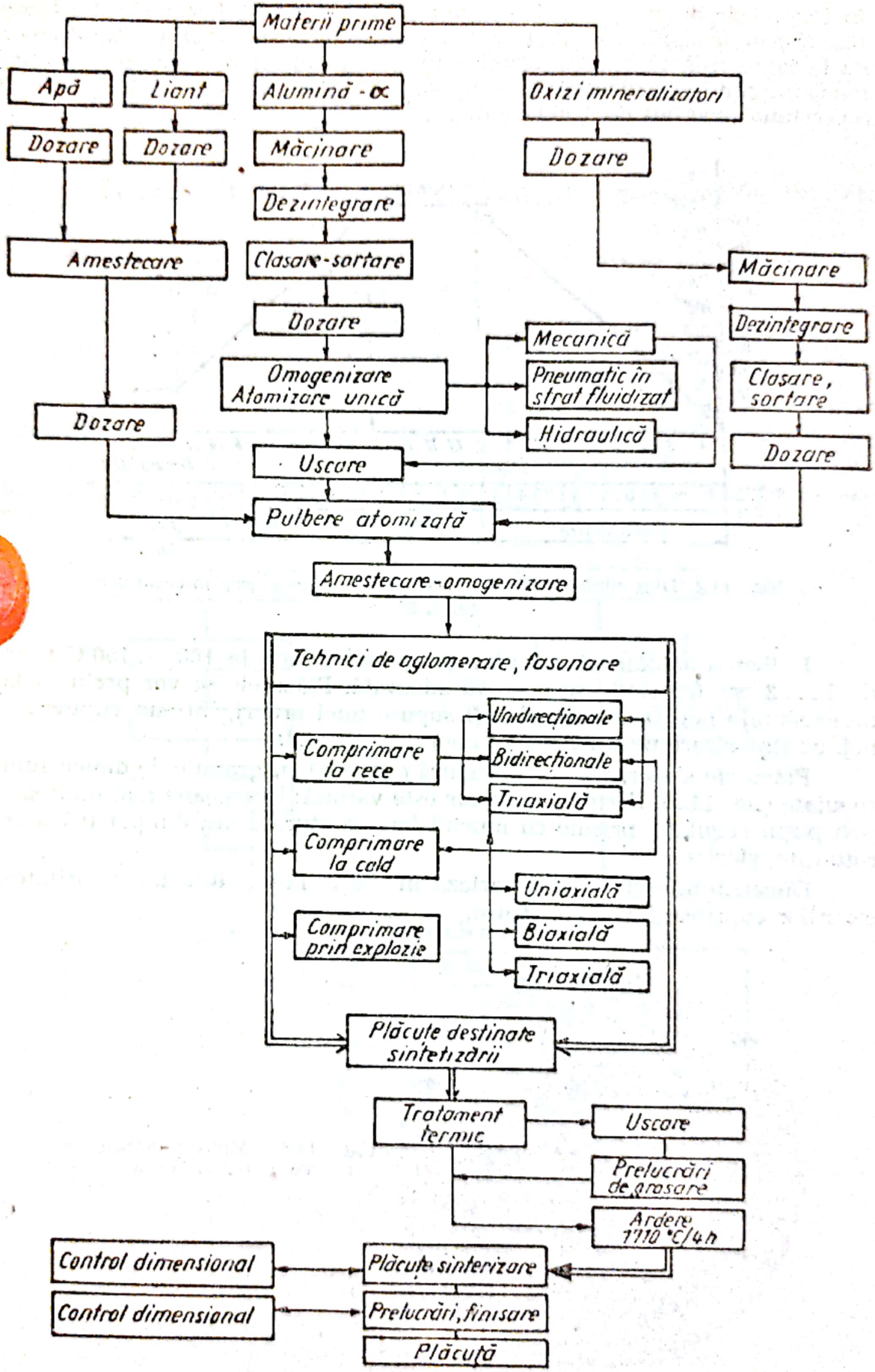


Fig. 14.1. Fluxul tehnologic de execuție a plăcuțelor ceramice românești [3; 4].

Scanned with OKEN Scanner

în funcție de dotarea tehnologică, cît și de necesitate, la temperatură ambiantă sau la cald, unidirecțional, bidirecțional sau izostatic. Menționăm că la fabricarea plăcuțelor testate, autorii au folosit presarea unidirecțională dat fiind dimensiunea relativ mică a plăcuțelor (25×18×8 mm) cu o presiune specifică de 3 500 daN/cm².

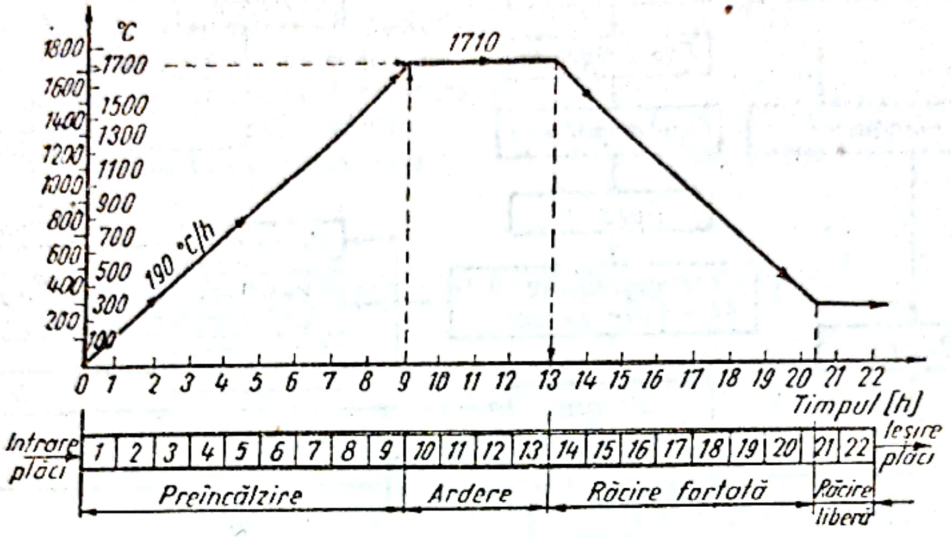


Fig. 14.2. Diagramă de sinterizare a plăcuțelor mineralo-ceramice [6, 8, 9].

Pulberea aglomerată — plăcuța — este uscată la 100 . . . 150°C timp de 1 . . . 2 ore folosindu-se o etuvă adecvată. Plăcuțele se vor prelucra la dimensiunile necesare urmînd a fi supuse unei arderi, într-un cuptor tunel, de sinterizare pe baza ciclogramei din fig. 14.2.

Plăcuțele sinterizate au o textură omogenă cu granule de dimensiuni regulate (fig. 14.3). Forma cristalelor este variată: hexagoane mai mult sau mai puțin regulate, prisme cu muchii bine conturate sau dimpotrivă ușor rotunjite, sferice.

Dimensiunile cristalelor variază în limite largi, fiind în majoritatea cazurilor cuprinse între 1 . . . 4 μm.

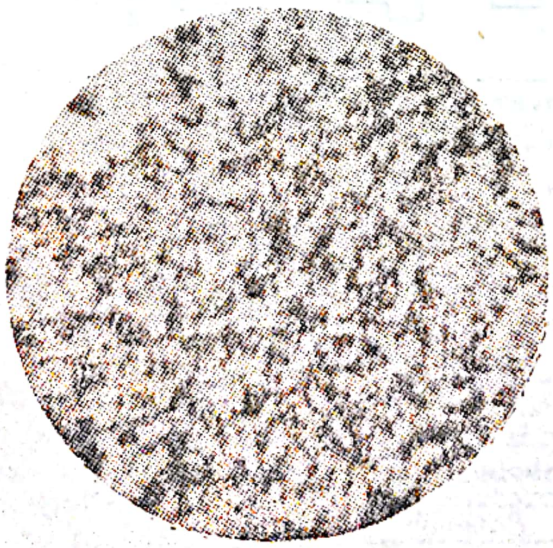


Fig. 14.3. Microstructură a compoziției AT 8.

Scanned with OKEN Scanner

Masa ceramică sinterizată este supusă unui control de depistare a unor microfisuri, clivaje, pori, folosindu-se tehnologia decapării, pulverizare de lichid penetrant P8, spălarea excesului uscare, developare cu lichid Derodev, detectarea lor și fotografierea.

4. Tehnologia realizării frezelor armate cu plăcuțe ceramice

Freza este formată dintr-un corp și patru sau șase plăcuțe ceramice avînd dimensiuni și greutăți echilibrate.

Realizarea frezelor cuprinde:

a) Realizarea corpului metalic, prin operații clasice (debitare, strunjire, găurire, frezare, rectificare, echilibrare statică).

b) Obținerea sculei, conform itinerariului fluxului tehnologic din fig. 14.4.

Lipirea plăcuțelor pe corp se realizează cu ajutorul unui adeziv sintetic obținut prin polimerizarea rășinii epoxidice, cu proprietăți fizice asemănătoare celor ale rășinilor naturale.

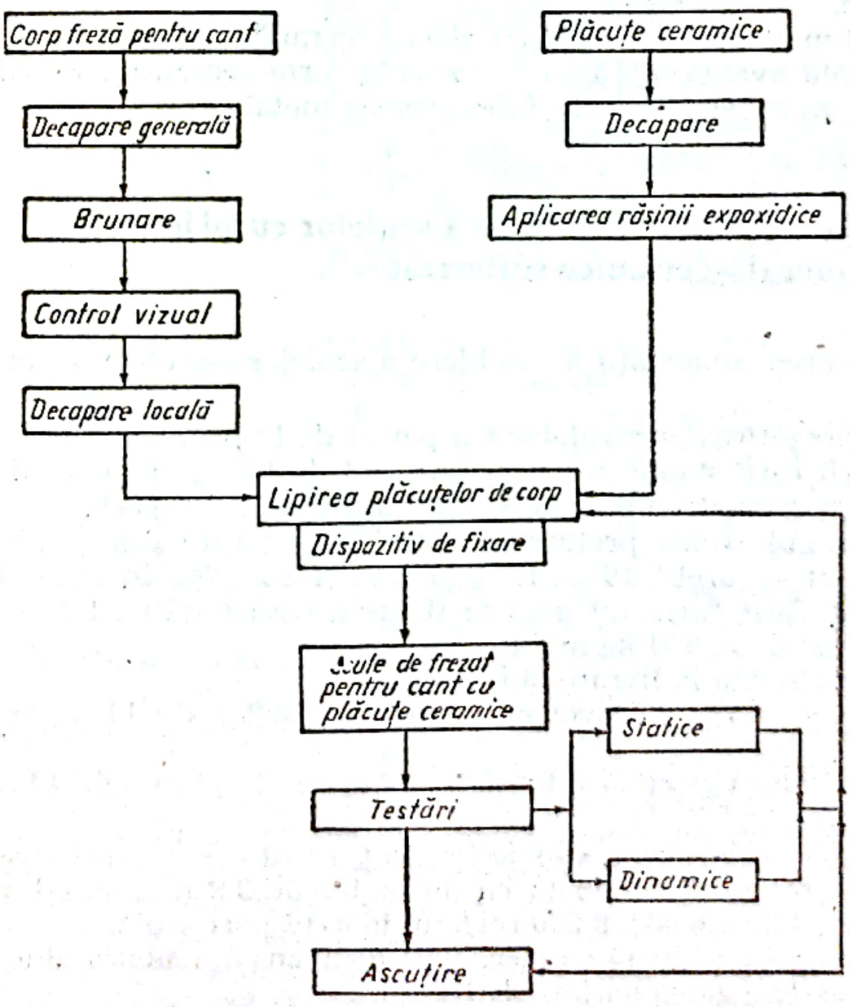


Fig. 14.4. Fluxul tehnologic de execuție a frezelor de prelucrat lemn placate cu plăcuțe ceramice românești.

Scanned with OKEN Scanner

Între dezavantajele rășinilor epoxidice ies în evidență solubilitatea în acetonă, esteri, alcooli superiori, hidrocarburi aromatice clorurate cît și descompunerea ușoară la temperaturi mai ridicate (sînt termolabile).

Pentru a putea fi folosite, rășinile epoxidice trebuie transformate sub formă termostabilă și insolubilă, rezistentă la acțiunea diferiților agenți chimici, cît și la diferențe de temperatură. Obținerea sub formă termostabilă a rășinilor epoxidice se face cu ajutorul unor substanțe chimice numiți „agenți de întărire". Atît rășinile și întăritorul sînt substanțe cu o durată de păstrare nelimitată, pînă în momentul cînd vin în contact între ele. În acest moment se obține un corp solid cu proprietăți fizice, chimice, mecanice și electrice favorabile.

Componentele (C.I.) și (C.E.) se amestecă în proporțiile prescrise de furnizor. Amestecarea se face pînă cînd masa capătă o culoare sidefie, după care se va depune cu pensula pe suprafețele ce vor fi în contact. Pelicula de rășină necesară pentru a avea o lipitură adezivă eficientă va avea o grosime de 0,05 ... 0,15 mm.

Rășina epoxidică utilizată are caracteristicile:

— timpul de gelifiere la 25°C, max. 30 min;

— timpul de întărire, 4 ... 24 h;

— rezistența la încovoiere după șapte zile, min. 200 daN/cm².

Sculele cu plăcuțe ceramice se vor încerca la diferite probe statice și dinamice.

Fiind mai ușoare sculele cu plăcuțe ceramice supuse testărilor dinamice prezintă avantajul că sînt supuse la forțe centrifuge de circa 50 ori mai reduse în raport cu sculele din carburi metalice.

5. Capacitatea de așchiere a sculelor cu plăcuțe mineralo-ceramice sinterizate

Încercarea capacității de așchiere a sculelor s-a efectuat în următoarele etape:

a) În pregătirea epruvetelor s-a pornit de la principiul de bază al teoriei așchierii care stabilește că la procesul de tăiere parametrii dinamici, cinematici și geometrici depind de natura materialului [14].

Materialul supus prelucrării, plăci aglomerate din așchii de lemn PAL cu liant — urelit 10 ... 12% la fețe și 5 ... 7% în miez. Plăcile de PAL tristratificat furniruit au următoarele caracteristici fizico-mecanice:

— densitatea, 660 kg/m³;

— umiditatea la livrare, $8 \pm 2\%$;

— rezistența la încovoiere statică a plăcilor de 14 ... 19 mm, 200 daN/cm²;

— coeziunea minimă internă transversală la plăcile de 14 ... 19 mm, 35 daN/cm².

b) Utilajul pe care s-a experimentat a fost o mașină de frezat cu ax vertical, tip MNF-10, acționată cu un motor de 3,8 kW, avînd o gamă de turații 3 000, 4 500, 6 000, 9 000 rot/min la axul port-sculă.

Mașina este echipată cu mecanism de avans al materialului tip DAM, care dispune de o gamă variată de turații.

c) Regimul de prelucrare:

— turația axului cu freza ceramică, 3 000 ... 6 000 rot/min;

Scanned with OKEN Scanner

— viteza de avans, 12 m/min;
— adîncimea de așchiere 2,5 mm.

d) Freza pentru cant ceramică care a servit la experimentări are următoarele caracteristici:
— diametrul exterior $\varnothing = 125$ mm;
— grosimea $B = 18$ mm.
— numărul de dinți $Z = 4$;
— diametrul alezajului $\varnothing = 30$ mm (H7);
— bătaia radială, 0,05 μm;
— geometria de așchiere încercată este $\alpha = 15° \ldots 21°$; $\beta = 72° \ldots 65°$; $\gamma = 3° \ldots 7°$;
— loturi de cîte patru scule pe tip de rețetă;
— rețetele de mase ceramice folosite: AT 8; AC 1; A 7.10; A 7.75; A 7.5; A 6.10;
— modul de fixare a plăcuțelor ceramice este prezentat în fig. 14.5;

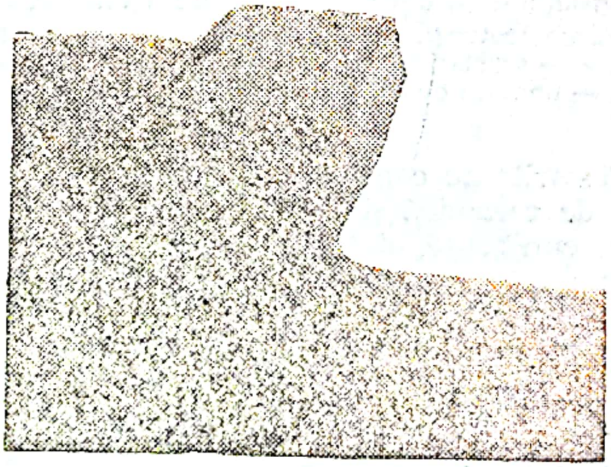


Fig. 14.5. Freză pentru cant placată cu plăcuțe ceramice — mod de fixare.

— celelalte freze testate sînt armate cu oțel rapid (OR) și carburi metalice sinterizate (C.M.S.) cu geometrie uzuală.

e) Asigurarea condițiilor de protecția muncii în timpul încercărilor executate cu scule armate cu plăcuțe ceramice s-a realizat prin măsurile:
— eliminarea incluziunilor străine din plăcile de prelucrat;
— amplasarea unui dispozitiv de protecție adaptat la mașina de frezat pe care s-au efectuat încercările;
— controlul sculelor ce vor fi utilizate la testare prin supraturarea lor în gol la turații de 9 000, 12 000, 18 000 rot/min, observînd dacă plăcuțele nu au avut de suferit dislocări sau fisuri;

f) Experimentările au stabilit rețeta optimă de masă ceramică pentru prelucrarea maselor lemnoase, constatată prin frezare și totodată unii parametri geometrici unghiulari favorabili în condiții de consum energetice minim. În paralel cu aceste direcții se caută și stabilirea unor durate preliminare de lucru a sculelor între două reascuțiri. Realizarea acestor deziderate conduce la substituirea treptată a C.M.S.-urilor cu material ceramic românesc, alături de numeroase simplificări tehnologice pentru fabricarea sculelor din industria lemnului.

Experimentările s-au efectuat în cadrul Facultății de Industrializare a lemnului — laboratorul de testări scule, Brașov, din uzura muchiei tăietoare s-a determinat prin măsurarea razei la diferite intervale de prelucrare [11]. Schimbarea formei tăișului datorită uzurii este redată în fig.

Scanned with OKEN Scanner

14.6, din care rezultă două elemente utilizate în calcul: raza ρ a cercului de rotunjire a muchiei tăietoare și scurtarea vîrfului, x. Între ρ și x există relația $\sin \beta(2) = \rho/(x+\rho)$; $x = \rho/\sin(\beta/2) = \rho$,

Testările s-au efectuat etapizat, urmărindu-se un paralelism al duratei de lucru între două reascuțiri la frezele de cant armate cu oțel rapid (OR), carburi metalice sinterizate (CMS) și material ceramic (MK), în condiții de tăiere identice.

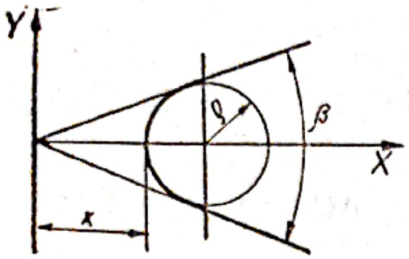


Fig. 14.6. Schema rotunjirii vîrfului unui cuțit uzat:
ρ — raza de rotunjire a vîrfului; x — scurtarea vîrfului; β — unghiul de vîrf.

La încercările preliminare pentru materiale ceramice s-au tăiat canturi pe plăci de PAL, cu avansul materialului de 12 m/min, în lungime de 200 m pînă la prima reascuțire.

În regimul de așchiere a materialului lemnos, cu șocuri mecanice nu a apărut fenomenul de frecare pe fața de așezare, dăunător procesului de așchiere, ceea ce a arătat că geometria frezei este corespunzătoare. La aceste teste s-au încercat 20 compoziții de mase ceramice, comportîndu-se bine numai AT 8, AC 1, A 7.10 și A 7.75.

Testările au continuat cu loturi de scule în vederea stabilirii rețetei optime de ceramică și modul de comportare în raport cu materialele de așchiere cunoscute, oțel rapid și carburi metalice sinterizate.

În condiții de lucru identice s-au frezat plăci de așchii aglomerate, constatîndu-se:

1) Scula armată cu oțel rapid a rezistat cel mai puțin în competiție (sub 100 m liniari), devenind neutilizabilă. În fig. 14.7 se prezintă cum arată muchia cuțitului la microscop, iar în fig. 14.8 este arătată tocirea razei de rotunjire.

Fig. 14.7. Muchia tăietoare văzută la microscop a plăcuței din oțel rapid după tăierea a 87 m PAL stratificat (×24).

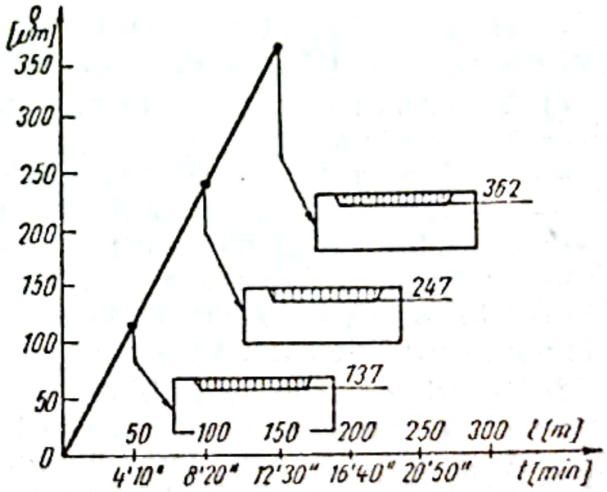


Fig. 14.8. Diagrama de variație a uzurii muchiei tăietoare a frezei pentru cant cu oțel rapid (OR), în funcție de regimul de așchiere.

2) Scula armată cu carbură metalică sinterizată a rezistat pînă la 540 m liniari, cu evoluția uzurii prezentată în fig. 14.9, după care a fost necesară o reascuțire.

Scanned with OKEN Scanner

3) Scula armată cu plăcuțe ceramice a intrat în competiție, avînd forma muchiei ca în fig. 14.10 pentru compozițiile AT 8 și A 7.75.

După parcurgerea a 500 m liniari s-au constatat unele mici știrbituri datorită microincluziunilor din plăcile de PAL precum și unor neomogenități în materialul ceramic.

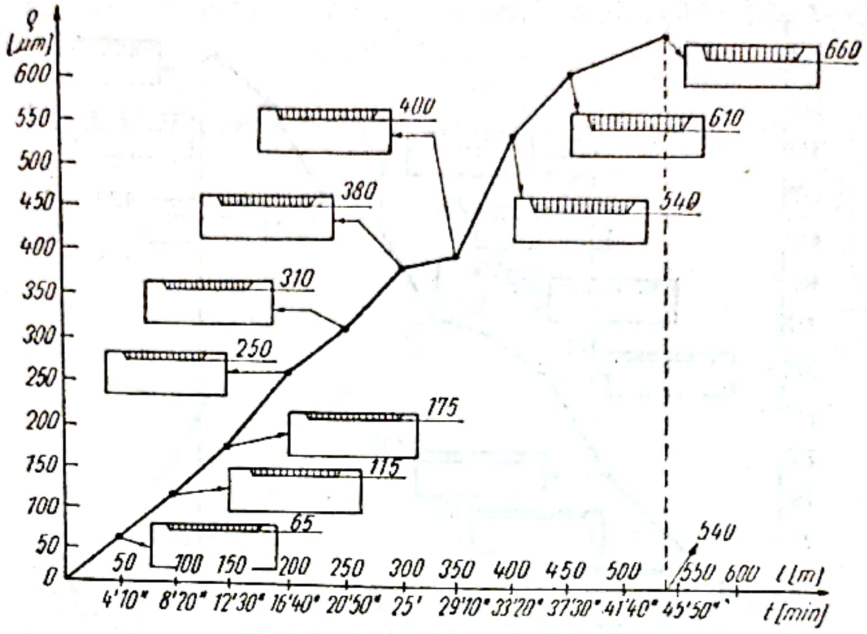


Fig. 14.9. Diagrama de variație a uzurii muchiei tăietoare a unei freze de cant placată cu carburi metalice sinterizate, în funcție de regimul de așchiere.

Suprafețele prelucrate în condițiile de mai înainte s-au prezentat fără ruperi și smulgeri de particule de masă, apreciindu-se calitatea corespunzătoare. Cuțitele ceramice menționate se prezintă, după parcurgerea metrilor liniari menționați mai înainte, muchia tăietoare ca în fig. 14.11

Fig. 14.10. Muchia tăietoare văzută la microscop a plăcuțelor ceramice înainte de experimentare (×24).

Fig. 14.11. Muchia tăietoare văzută la microscop a plăcuțelor ceramice ale frezelor (×24).

Scanned with OKEN Scanner

și etapele de uzură, pentru rețetele AT 8 și A 7.75, prezentate în fig. 14.12 și 14.13.

Tăierile-test efectuate au arătat că există un material ceramic apt pentru prelucrări mecanice ale plăcilor din așchii aglomerate, avînd rezistență bună la uzură abrazivă a muchiilor. Acest material este compozi-

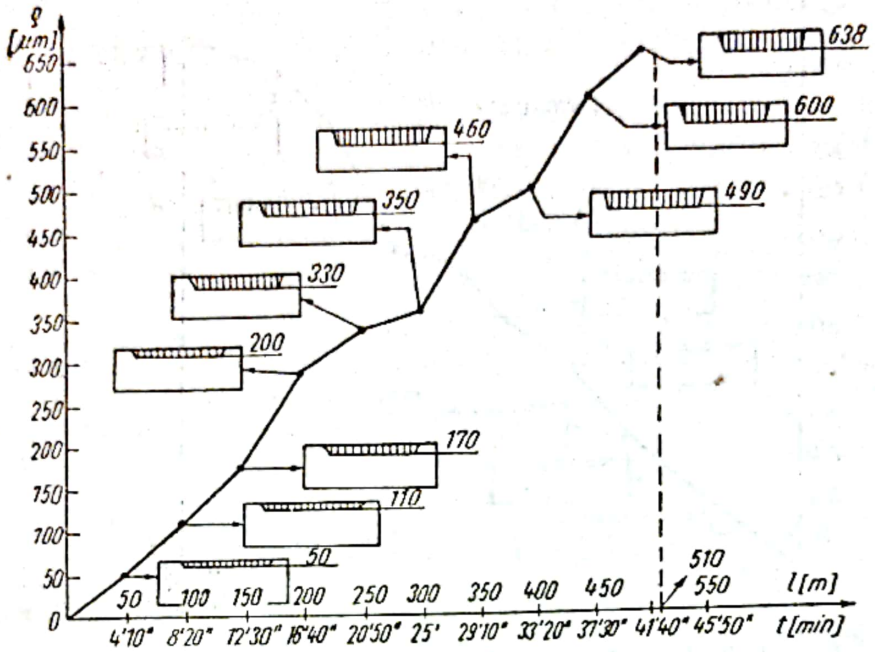


Fig. 14.12. Diagrama de variație a uzurii muchiei tăietoare a frezelor armate cu plăcuțe ceramice compoziția AT 8.

ția AT 8 urmată de A 7.75. În fig. 14.14 se prezintă comparativ uzura sculelor armate cu oțel rapid, carbură metalică și material ceramic.

În literatura de specialitate se indică domenii de durabilitate, în minute, a sculelor în condițiile prelucrărilor materialelor metalice, astfel:

— oțel rapid, 30 . . . 120 min;

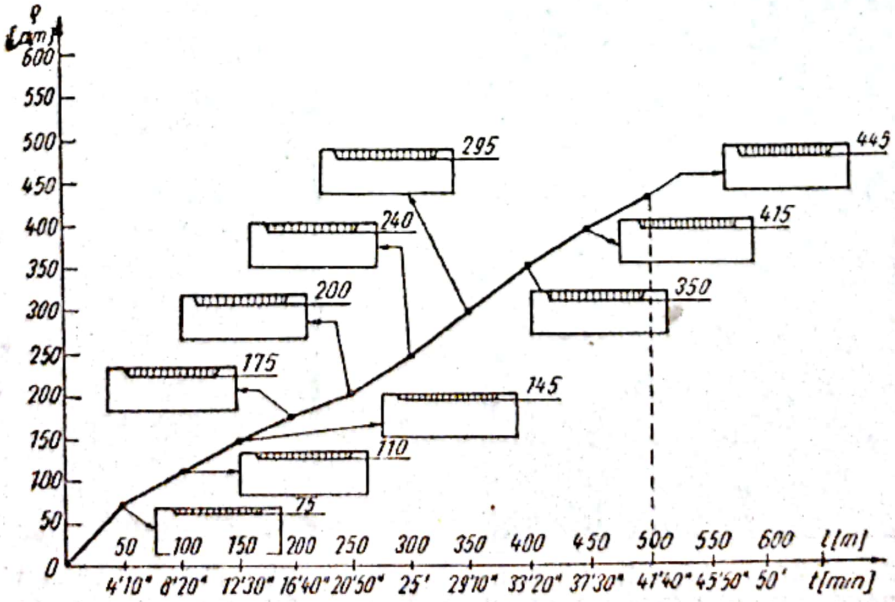


Fig. 14.12. Diagrama de variație a uzurii muchiei tăietoare a frezelor armate cu plăcuțe ceramice compoziția A. 7.7.5.

Scanned with OKEN Scanner

— carburi metalice lipite, 30 . . . 60 min;
— carburi metalice amovibile, 15 . . . 30 min;
— materiale ceramice, 10 . . . 20 min;
— nitrură de siliciu, 15 . . . 30 min.

Aceste durabilităţi trebuie corelate cu parametrii regimurilor optime de prelucrare specifice fiecărui material aşchietor în parte. Din acest punct

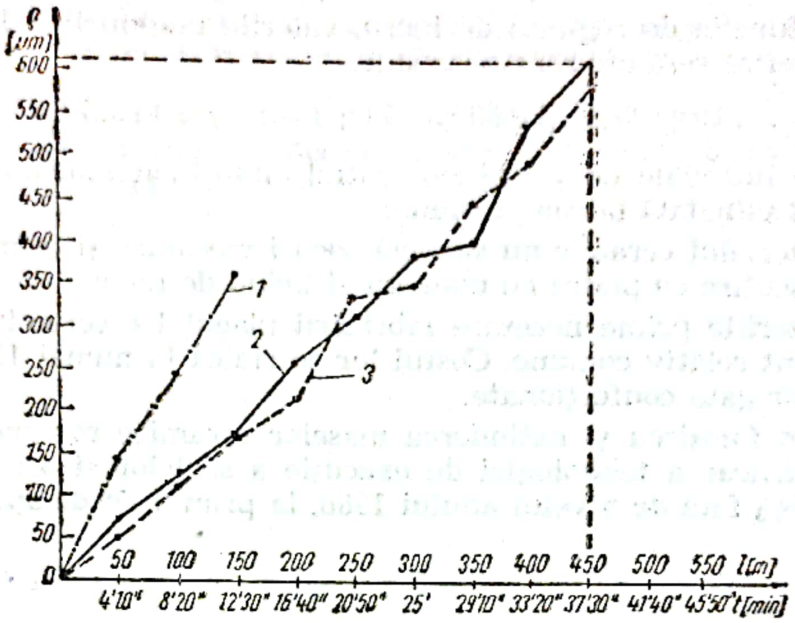


Fig. 14.14. Variaţia uzurii în funcţie de tocirea vîrfului cuţitului armat cu:
1 — oţel rapid; *2* — carburi metalice sinterizate; *3* — material ceramic.

de vedere exprimarea durabilităţii în funcţie de lungimea efectivă parcursă de sculă pînă la atingerea uzurii maxime este utilă pentru compararea sculelor de aceeaşi construcţie, dar din materiale diferite. În acest sens, o relaţie comparativă între sculele armate cu oţel rapid (OR), carbură metalică sinterizată (CMS) şi material ceramic (MK) se poate exprima prin relaţia stabilită de autorii acestui articol

$$\frac{OR}{5} = \frac{CMS}{1{,}15} = \frac{MK}{2{,}7},$$

similară cu cea în cazul prelucrării materialelor metalice [10].

$$\frac{OR}{1} = \frac{CMS}{3} = \frac{MK}{7}.$$

6. Concluzii

Cercetările şi experimentările efectuate au dus la anumite constatări, pe baza cărora s-au dedus concluziile:

1) Materialul ceramic produs în ţara noastră poate fi folosit la anumite prelucrări mecanice ale plăcilor din aşchii aglomerate;

Scanned with OKEN Scanner

2) Utilizarea materialului ceramic se poate recomanda deocamdată la sculele fixate prin lipire cu rășini epoxidice de proveniență românească, înlocuindu-se plăcuțele de carburi metalice sinterizate brazate, a căror fabricare este mare consumatoare de Ag 40 cît și de energie electrică;

3) Principiul de realizare a frezelor pentru cant-falț poate fi acceptat ca principiu de bază al proiectării sculelor tăietoare placate cu material ceramic destinat prelucrării plăcilor din așchii aglomerate.

4) În funcție de regimul de lucru, valorile unghiurilor dinților tăietori din material ceramic românesc sînt:

$$\alpha = 17^\circ \ldots 19^\circ; \qquad \beta = 66^\circ \ldots 71^\circ; \qquad \gamma = 0 \ldots 7^\circ.$$

Aceste intervale de valori sînt astfel alese încît muchia tăietoare să fie mai mult solicitată la compresiune.

5) Materialul ceramic nu suportă șocuri mecanice și termice, se pretează la o ascuțire cu piatră cu diamant și lichid de răcire.

6) Materiile prime necesare fabricării plăcuțelor ceramice se găsesc în țară și sînt relativ comune. Costul lor se ridică la numai 15% din costul plăcuțelor gata confecționate.

7) Prin folosirea și extinderea maselor ceramice românești se estimează simplificarea tehnologiei de execuție a sculelor și o economie valutară cu 25% față de nivelul anului 1988, la primul an de aplicare.

BIBLIOGRAFIE

1. Agte. K., Kolerman, R. Mineralo-keramiceskie rejuşcie materiali. Moscova, Maşghiz, 1962.
2. Cimpoia, I. Contribuții la studiul prelucrării prin frezare a suprafețelor profilate din lemn (Teză doctorat). Brașov, Universitatea, 1982.
3. Dinescu, R. Bazele tehnologiei ceramicii și refractarelor. București, Editura Tehnică, 1966.
4. Dinescu, R., Surdeanu, T. Ceramica din oxid de aluminiu. București, Editura Tehnică, 1979.
5. Drăghici, Gartig, O. Așchierea cu materiale mineralo-ceramice. București, Editura Tehnică, 1979.
6. Pavluşkin, N. M. Specenîi Korund. Moscova, Maşghiz, 1961.
7. Tomescu, D. ș.a. Repararea utilajului agricol. București, Editura Ceres, 1988.
8. Aciu, M., Moldovanu, E., Suciu, V. Elaborarea plăcuțelor așchietoare din materiale ceramice și așchierea oțelurilor cu: cuțite armate cu plăcuțe ceramice. Cluj-Napoca, Conferința a III-a Națională de Metalurgie a pulberilor, 1987.
9. Rehner, H. H., Thaler, M. Modelarea matematică a cuptorului tunel cu role. În: Revista materialelor de construcții, nr. 1, 1989.
10. Gartig, O. Studiul gradului optim de concentrare al operațiilor proceselor tehnologice de prelucrare și modelare a regimurilor de așchiere pe mașini-unelte (teză de doctorat). Brașov, Universitatea, 1984.
11. Suciu, P. și Borowski, B. Circulare și freze moderne în industria lemnului. București, Editura Tehnică, 1963.
12. Lăbușcă, E. Procedeu de sinterizare. Brevet România, nr. 53639.

Scanned with OKEN Scanner

13. Lăbușcă, E. Mase minerale ceramice pentru obținerea plăcuțelor utilizate la așchiere și procedeu de obținere a lor. Brevet România, nr. 47669.
14. Manole, Gh. Contribuții la studiul prelucrabilității prin tăiere a lemnului stratificat. (teză de doctorat). Brașov, Universitatea, 1984.
15. Dvorak, U., Olapinschi, A. Plăcuță de tăiere pentru lucru prin îndepărtarea așchiilor și procedeu de fabricare. Brevet R.F.G. P. 2923213.1.
16. Reh. H. How Realistic Are Market Forecasts for High Performance Ceramics? În: Rev. Interceram, nr. 2, 1989 (R.F.G.).
17. * * * Ceramicile dure folosite la tăiere; posibilități de utilizare în industria lemnului. În: Revue du Bois et de ses Applications, Paris 40, nr. 10 oct. 1986 (Franța).
18. * * * Frezarea cu turații înalte. În: Rev. Machine-Outil nr. 1, 1987 (Franța).
19. Catalog de scule diamantate. București, Întreprinderea de Mecanică Fină, 1986.
20. Negriu, R. M., Rodu I. ș.a. Brevet, România nr. 99015.

Scanned with OKEN Scanner

15
Fonte de calitate elaborate cu materiale recuperate

Dr. ing. *Ladislau Marton*
Sing. *Tiberiu Codilean*
Intreprinderea Mecanică Gheorghieni

1. Deșeuri

În condițiile creșterii accentuate a producției de fonte de diverse utilizări în construcția de mașini, devine o problemă din ce în ce mai importantă valorificarea superioară a tuturor materialelor recuperabile și refolosibile, în vederea reducerii costurilor de producție, eliminării importurilor și nu în ultima instanță a preîntîmpinării poluării mediului înconjurător cu cantități mari de deșeuri pe care industria le produce în mod curent.

În funcție de proveniență, materialele metalice pot fi: oțeluri carbon, de scule, slab, mediu sau înalt aliate, inoxidabile și refractare, respectiv fonte cenușii, fonte slab aliate, fonte înalt aliate și cu destinații speciale.

Refolosirea deșeurilor și a metalelor vechi feroase creează o serie de probleme de ordin tehnologic, datorită faptului că sînt: aliate cu diferite elemente, acoperite cu metale neferoase protectoare nedorite, chiar dăunătoare în topitură, însoțite de alte impurități sau elemente greu de eliminat.

La elaborarea fontelor, pe lîngă materiale feroase se utilizează o serie de materiale de dezoxidare, aliere și modificare ca: ferosiliciu, silicocalciu, silicomangan etc., unele dintre aceste materiale putînd fi înlocuite cu metale vechi sau deșeuri.

Astfel de materiale recuperabile cu conținut de siliciu, carbon și alte elemente de aliere utile sînt: deșeuri de carbură de siliciu, cu conținut de 60 . . . 65% Si și 25—30% C, care se regăsesc sub formă de spărturi de corpuri abrazive (pietre de polizor); carbură de siliciu metalurgică (produs secundar de la fabricarea SiC) sub formă de granule sau brichete; deșeuri ferosilicioase, produs secundar la fabricarea corpurilor abrazive de electrocorindon. Aceste materiale au fost cercetate în vederea înlocuirii ferosiliciului (STAS 7436-80), costisitor și energofag.

În tabelul 15.1 sînt redate mărcile de ferosiliciu produse în România, conform STAS 7436-80, care pot fi înlocuite cu deșeuri silicioase.

În tabelul 15.2 se prezintă compoziția chimică a diverse sorturi de carbură de siliciu folosite la corpurile abrazive, cît și a șlamului rezultat la fabricarea carburii de siliciu. Conținutul de elemente nedorite în carbura de siliciu, respectiv N_2O_2; H_2; Al este foarte scăzut [3; 5], în schimb

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.1. **Compoziția chimică a ferosiliciului, conform STAS 7436-80**

Marca	Si %	Compoziția chimică, %					
		Mn	Cr	P	S	C	Al
		Maximum					
FeSi 92	89—95	0,50	0,20	0,04	0,04	0,10	2,5
FeSi 85	80—89	0,60	0,30	0,05	0,04	0,10	2,5
FeSi 75	70—79	0,70	0,40	0,05	0,04	0,10	2,5
FeSi 65	60—69	0,90	0,50	0,05	0,04	0,15	2,5
FeSi 45	40—47	1,00	0,60	0,05	0,04	0,50	2,0
FeSi 35	30—40	1,30	0,80	0,06	0,04	1,00	1,5
FeSi 25	20—30	1,50	0,90	0,06	0,04	1,00	1,0

Tabelul 15.2. **Compoziția chimică a carburii de siliciu din spărtură de corpuri abrazive**

Materialul	SiC %	C legat %	Si legat %	$FeO+Fe_2O_3$ Al_2O_3 %	SiO_2 max %	C liber %	Si liber %
SiC verde	99,7	21	57	max 0,14	0,15	max 0,08	max 0,0
SiC negru	99,3	20	58	max 0,3	0,2	max 0,1	max 0,1
Slam	80—85	15—20	45—55	9—17	2	2—3	max 1

deșeurile de corpuri abrazive conțin 3 . . . 4% liant ceramic, care însă nu influențează negativ procesul tehnologic de elaborare a fontei.

Caracteristicile fizico-mecanice ale SiC sînt următoarele: densitatea 3,22 kg/dm³; temperatura de topire 2 827°C; coeficientul de dilatare 4,7; conductivitatea termică 2,24 kcal/cm·s·°C; căldură de formare 15,8 kcal/mol [7].

O altă resursă recuperabilă este carbura de siliciu metalurgică provenită de la fabricarea materialelor refractare, avînd compoziția chimică cuprinsă în tabelul 15.3 [3; 5].

Carbura de siliciu metalurgică mai conține aluminiu (0,2%) și următoarele elemente nedorite: As=sub. 0,002%; P=0,001%; Sb=0,001%; Sn=0,001%; Se=0,05%; Te=0,05% etc., care însă datorită conținutului scăzut se neglijează.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.3. **Compoziția chimică a carburii de siliciu metalurgice**

Caracteristici		Sortiment SiC G		Sortiment SiC B	
		Tip I	Tip II	Tip I	Tip II
Stare de livrare		Granulată		Brichete	
Dimensiuni, masă		0...20 mm		4...8 kg	
Compoziție chimică, %	SiC	80—86	87—97	75—81	82—88
	Si+SiO	3—5	2—4	3—5	2—4
	C liber	3—6	2—3	3—6	2—3
	FeO	max 3,5	max 3	max 3,5	max 3
	Al_2O_3	max 3	max 3	max 3	max 3
Conținut de elemente active, %	Si	56—61	61—65	52—57	57—63
	C	27—33	28—31	25—31	26—31

Un alt material recuperabil valoros utilizabil pentru elaborarea fontelor este deșeul ferosilicios rezultat la fabricarea pietrelor de polizor din electrocorindon, denumit „Electrocorindon ferosilicios EF", avînd compoziția chimică cuprinsă în tabelul 15.4, pe lîngă care mai conține ca impurități 0,4% Cr, 0,4% Mn, 0,04% S [16].

Tabelul 15.4. **Compoziția chimică a deșeurilor de la fabricarea electrocorindonului**

Fe %	Si %	Al max. %	Ti %	Rest de electrocorindon, % max.
70...75	9...13	5,0	1...6	8,5

2. Influența materialelor cu conținut de siliciu asupra calității fontei elaborate

Datorită conținutului ridicat de C și Si, carbura de siliciu se impune din ce în ce mai mult ca un înlocuitor al ferosiliciului, la elaborarea fontelor de turnătorie în cuptoarele electrice cu inducție [1, 2, 3].

Carbura de siliciu utilizată în cuptoarele electrice cu inducție asigură următoarele *avantaje*: reducerea oxizilor cu 70—95%; alierea cu siliciu a fontelor; carburarea încărcăturii metalice.

Scanned with OKEN Scanner

În tabelul 15.5 este redată asimilarea carbonului, siliciului și reducerea conținutului de FeO la introducerea a 0,5% SiC în încărcătura cuptorului cu inducție [2, 3, 5].

Tabelul 15.5. **Influența unui adaos de 0,5% SiC în fonta topită**

Șarja	Compoziția inițială %			Compoziție finală %			Schimbări produse %		
	C	Si	FeO	C	Si	FeO	C	Si	FeO
1	2,33	1,25	12,15	2,48	1,51	3,07	+0,13	+0,26	+9,08
2	2,31	1,10	11,26	2,50	1,30	1,48	+0,19	+0,20	+9,92

Prin *dezoxidarea băii* metalice cu ajutorul *carburii de siliciu* se obțin următoarele *efecte* directe:

— scăderea pierderilor prin oxidare a elementelor de aliere cu circa 30%;

— asigurarea unei topiri reducătoare, așa cum rezultă din tabelul 15.6;

— creșterea durabilității căptușelii refractare acide cu circa 20%;

— alierea cu siliciu și carbon a fontei elaborate.

Tabelul 15.6. **Influența condițiilor de topire asupra conținutului de oxizi la sfîrșitul topirii**

Condiții de topire	Compoziția la sfîrșitul topirii		
	SiO_2 %	FeO %	Fe_2O_3 %
Oxidantă	60,6—59,3	21,2—13,2	0,43—0,01
Reducătoare, cu adaos de SiC	61,8—62,1	3,3—1,8	max. 0,16

Gradul de asimilare al siliciului la introducerea SiC în încărcătura cuptorului cu inducție este de peste 60%. În cazul în care SiC se adaugă după topirea încărcăturii este necesar ca temperatura băii metalice să depășească 1 400°C, pentru a obține același grad de asimilare. Din fig. 15.1 se remarcă faptul că asimilarea este maximă chiar în primele 10 min în cazul folosirii unui amestec de $SiC+CaO+CaF_2$ [2].

Carburarea încărcăturii metalice prin înlocuirea unei părți din materialul carburant (cocs de petrol sau spărturi de electrozi de grafit) cu carbură de siliciu scade conținutul de gaze introduse de carburant în baia metalică.

În tabelul 15.7 este redat conținutul de gaze în diferite tipuri de fonte elaborate în prezența unor materiale de carburare și de aliere cu siliciu [3; 5].

Scanned with OKEN Scanner

Carbura de siliciu este un material de carburare mai eficient în raport cu cocsul de turnătorie, cocsul de furnal, mangalul etc., deoarece nu conține cenușă, sulf și compuși volatili [1, 2, 10], care au efect negativ asupra carburării.

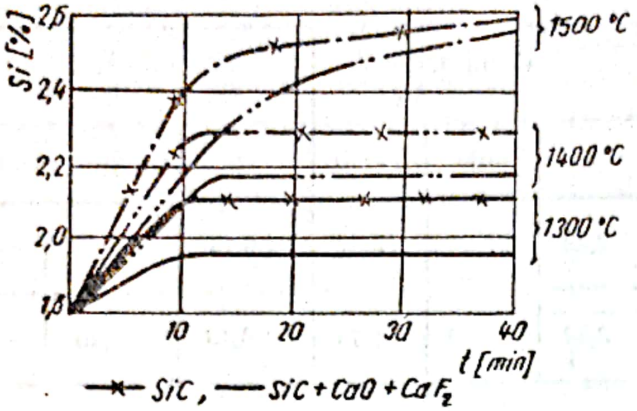


Fig. 15.1. Îmbogățirea fontei în siliciu la menținerea sub zgură în care se adaugă SiC sau $SiC+CaO_2+CaF_2$.

Tabelul 15.7. **Influența materialului de carburare și de aliere cu siliciu asupra conținului de gaze din fonta topită**

Materialul de carburare și de aliere cu Si utilizat	Temperatura fontei °C	Conținutul de gaze, p.p.m.			
		O_2	H_2	N_2	Total
Deșeu electrozi de grafit +FeSi 75%	1480	8,2	2,32	110	121
Deșeu electrozi de grafit +SiC	1490	6,1	1,56	80	88
Cocs petrol+FeSi 75%	1490	8,0	3,48	125	136

În tabelul 15.8 sînt date conținuturile de S, cenușă și componente volatile în principalele materiale.

Tabelul 15.8. **Conținutul de sulf, cenușă și volatile a unor materiale de carburare**

Materialul comparat	Conținutul %		
	S	Cenușă	Volatile
SiC	0,07	—	—
Cocs de petrol	0,5—1,5	12	max 2,0
Grafit de electrozi	0,19	1—3	max 3,0
Cocs de turnătorie	0,9—1,1	8,0—13,0	1,0—1,5
Cocs siderurgic	1,7—2,1	11,0—13,0	1,7—2,0

Scanned with OKEN Scanner

În tabelul 15.5 este arătat că prin adaosul a 0,5% SiC în încărcătură conținutul de carbon în baia metalică a crescut cu 0,15% la prima șarjă și cu 0,19 la a doua, ceea ce indică un grad de asimilare cuprins între 60 și 85%.

Este cunoscut faptul că, gradul de asimilare al carbonului este puternic influențat de compoziția chimică a încărcăturii [2, 9]. O serie de elemente cum sînt Si, P, S, Cu, Ni micșorează capacitatea de dizolvare a carbonului, altele însă cum sînt Mn, Cr, Ti, V etc. favorizează acest proces. Cea mai mare importanță o are însă siliciul, care micșorează gradul de asimilare al carbonului, din care cauză se impune ca operația de carburare să fie făcută înaintea alierii cu siliciu [9]. Din cauză că are un conținut mare de C și Si, carbura de siliciu poate fi utilizată la carburare în combinație cu spărturi de electrozi de grafit sau alt material carburant, asimilarea C și Si realizîndu-se simultan. În același timp gradul de asimilare al carbonului este influențat și de temperatura băii metalice și de gradul de agitare electromagnetică a băii metalice, determinată de frecvența curentului [2].

Pe lîngă efectele tehnologice enumerate s-a constatat că SiC introdus în cuptor pentru corectarea compoziției chimice are *efecte modificatoare* și de finisare a structurii [3].

Granulele de carbură de siliciu nu se topesc în fontă, avînd temperatura de topire de 2 827°C, ci se dizolvă în aceasta sub formă de soluție solidă, în special la sfîrșitul ciclului de elaborare, cînd temperatura este mai ridicată sau în perioada de supraîncălzire [3, 5, 6].

Carbura de siliciu anihilează efectele negative ale supraîncălzirii, prin crearea de *noi germeni de cristalizare*. Efectul modificator se datorește descompunerii moleculelor de SiC, care asigură formarea unor particule de grafit cu rol de germeni de grafitizare [2, 3, 14]. De asemenea, carbura de siliciu utilizată la elaborarea fontelor de turnătorie permite mărirea cantității de fier vechi în încărcătură, și preîntîmpină apariția defectelor cauzate de porozitatea datorită azotului. În literatura de specialitate [3, 5] se arată că la încărcăturile cu 30% fier vechi, la care s-a folosit carburant cocs de petrol și alierea s-a realizat cu ferosiliciu 75%, au apărut porozități datorită azotului. La șarjele la care carburarea s-a efectuat cu grafit de electrozi și alierea s-a realizat cu FeSi 75%, porozitățile cauzate de azot au tendința să apară la încărcăturile cu 50% fier vechi. În cazul experimentărilor efectuate la Întreprinderea Mecanică Gheorgheni tendința de apariție a defectelor cauzate de azot nu a fost constatată la șarjele carburate cu grafit de electrozi și aliate cu carbură de siliciu nici la peste 80% fier vechi. Se poate aprecia că, prin folosirea SiC la elaborarea fontelor se creează condiția tehnologică de *creștere a conținutului de oțel vechi în încărcătură* și deci de reducere a prețului de cost al fontei elaborate.

3. Tehnologii experimentale de folosire a SiC

Pe baza datelor din literatura de specialitate [1, 2, 3, 4, 11, 12, 15] în continuare sînt analizate experimentările privind utilizarea carburii de siliciu (granule, spărturi de corpuri abrazive) și s-au elaborat rețete de încărcături, respectiv tehnologii de elaborare a fontelor de calitate su-

Scanned with OKEN Scanner

perioară de tip Fc 250; Fc 300, FcX 250, utilizate la turnarea organelor pentru mașini unelte, tractoare și mașini agricole.

Șarjele au fost elaborate în cuptoare cu inducție, faza experimentală realizîndu-se în cuptoare de 100 kg cu frecvența de lucru de 2 500 Hz, iar faza industrială în cuptoare cu inducție de 6 . . . 12 t, la 50 Hz. Pentru exemplificare, în tabelul 15.9 sînt redate condițiile de compoziție a șarjelor elaborate. Este indicată compoziția, în procente, a încărcăturii, singurul criteriu de stabilire a proporției fiind creșterea cantității de fier vechi și utilizarea SiC pentru aliere cu siliciu și cu carbon. La șarjele 9 și 10 alierea cu siliciu s-a realizat utilizînd deșeuri de electrocorindon ferosilicios (EF).

Tabelul 15.9. **Compoziția încărcăturii șarjelor experimentale elaborate**

Marca fontei	Șarja	Compunerea încărcăturii metalice, %			Adaosuri de carburare și aliere cu Si			Compoziția calculată %	
		Fontă remanentă	Fontă veche	Fier vechi	Grafit electrozi %	SiC %	EF %	C	Si
Fc	1	20	30	50	1	1,5	—	3,06	1,99
Fc	2	20	20	60	1,5	1,7	—	3,10	1,90
Fc	3	20	10	70	2,0	2,0	—	3,20	1,90
Fc	4	20	10	70	1,5	2,5	—	3,00	2,10
Fc	5	20	—	80	2,0	2,5	—	3,08	2,10
Fc	6	20	—	80	1,7	3,0	—	3,00	2,12
Fc	7	20	—	80	1,5	3,5	—	3,00	2,42
Fc	8	20	—	80	1,0	3,5	—	2,70	2,42
Fc	9	20	—	67	2,5	—	13	3,00	2,24
Fc	10	20	—	70	2,5	—	10	2,99	2,14
Antifricțiune	11	20	50	30	0,8	0,8	—	3,30	1,80
Fgn	12	—	—	100	3,5	2,5	—	3,95	1,4
Ni Hard	13	20	—	80	2,5	0,8	—	3,0	1,0

În fig. 15.2 sînt redate conținuturile calculat și realizat de siliciu în funcție de % de carbură adăugată. După topirea completă asimilarea siliciului a fost verificată prin analiza chimică și respectiv tendința de

Scanned with OKEN Scanner

albire a fontei cu ajutorul probelor pană (fig. 15.3). Gradul de albire a probelor pană a fost normal și a corespuns conținutului de carbon și siliciu analizat. La fiecare șarjă s-a efectuat supraîncălzirea conform diagramei din fig. 15.4. Punctul *A* din diagramă indică terminarea oricărei intervenții asupra compoziției chimice, cu 10 min înainte de începerea su-

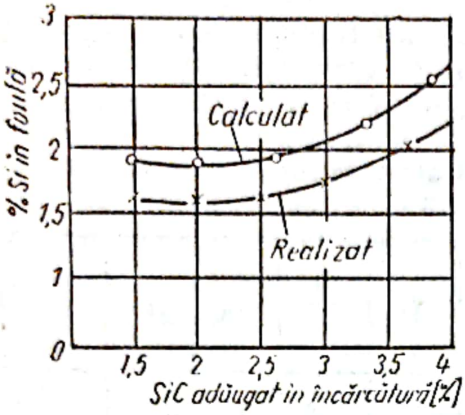


Fig. 15.2. Creșterea conținutului de siliciu din fontă în funcție de cantitatea de SiC adăugat în încărcătură.

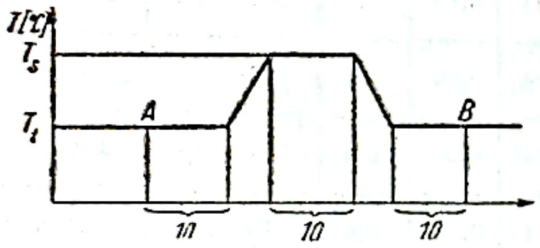


Fig. 15.4. Diagrama de efectuare a supraîncălzirii fontei peste temperatura de echilibru:

Punctul *A:* ultima intervenție asupra compoziției chimice.

Punctul *B:* începerea turnării sau a modificării.

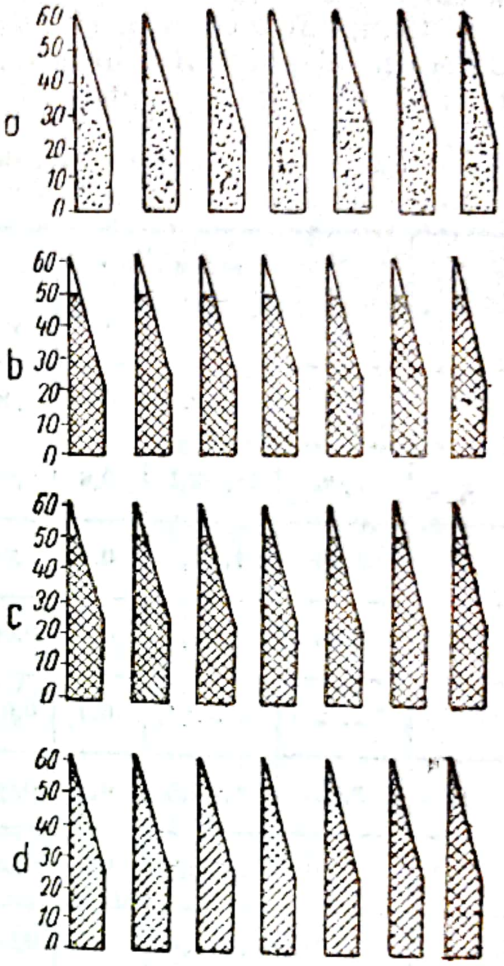


Fig. 15.3. Aspecte ale rupturii *probelor pană:*

a — fontă nemodificată; *b* — fontă modificată cu 0,35% silicocalciu; *c* — fontă modificată cu 0,5% silicocalciu; *d* — fontă modificată cu 0,7% silicocalciu.

praîncălzirii, timp în care baia se lasă să se amestece și să se omogenizeze. Se menține la T_s — 10 min după care șarja se răcește forțat prin adaos de fontă veche fără impurități. În toate cazurile s-a folosit fontă veche curată cu 3,2% C și 2,2% Si.

După supraîncălzire au fost turnate probe pană pentru verificarea gradului de albire și s-a constatat o creștere minoră a gradului de albire față de probele anterioare supraîncălzirii. La fiecare șarjă s-au turnat trei seturi de probe pană și probe de încercare la tracțiune (Ø30).

La modificarea fontei lichide s-a folosit silicocalciu cu 30% calciu și la fiecare set de probe turnate s-a variat cantitatea de modificator, comparativ urmărindu-se să se pună în evidență efectul modificator al pulberii de carbură de siliciu și al electrocorindonului ferosilicios măcinat.

Scanned with OKEN Scanner

4. Calitatea fontelor elaborate experimental

Aprecierea calității fontei turnate s-a făcut în două etape. În prima etapă, pe baza încercărilor mecanice după modificare, iar în etapa a doua pe baza analizei metalografice.

Compoziția chimică și caracteristici ale fontelor elaborate sînt cuprinse în tabelul 15.10. În acest tabel se dă conținutul de Si dinainte și după modificare, despărțite cu linie oblică de fracție.

Tabelul 15.10. **Compoziția chimică realizată și rezultatele încercărilor mecanice obținute**

Șarja	Analiza chimică, %					S_e	$\frac{Si}{C}$	R_m N/mm²	HB
	C	Si	Mn	P	S				
1	2,99	1,8/2,2	0,51	0,06	0,04	0,81	0,6	245—285	239
2	3,06	18,5/2,1	0,6	0,06	0,04	0,83	0,6	245—271	229—240
3	3,20	1,6/2,3	0,44	0,06	0,04	0,85	0,5	250—287	229—240
4	2,88	1,9/2,1	0,4	0,06	0,04	0,80	0,7	270—300	234—239
5	2,92	2/2,4	0,4	0,07	0,04	0,80	0,7	260—312	229—234
6	2,92	1,9/2,5	0,5	0,06	0,04	0,80	0,7	290—314	239—249
7	2,69	2,1/2,7	0,5	0,06	0,04	0,75	0,8	307—318	230—240
8	2,62	2,1/2,8	0,5	0,06	0,04	0,73	0,8	315—318	229—234
9	3,05	2/2,4	0,5	0,05	0,04	0,85	0,7	240—275	220—230
10	2,96	2/2,4	0,5	0,05	0,04	0,82	0,7	242—302	240—250
11	3,3	1,77	0,5	0,05	0,04	*		—	219
12	3,92	1,4	0,4	0,05	0,04			480—7	180
13	3,0	1	0,5	—	—	**		—	590

Mai conțin: * Cr=0,35 %; Ni=0,3 %; Cu=0,7 %; V=0,1 %
** Ni=3,06 %; Cr=1,21 %.

La probele până din fig. 15.3 compoziția chimică variază de la 2,6—3,2 la carbon și 1,6—2,1 la siliciu la probele martor luate după supraîncălzire. La modificare cu SiCa s-a produs microaliere cu siliciu, și la analizele efectuate s-a obținut o creștere de siliciu cu 0,3—0,7%. La modi-

Scanned with OKEN Scanner

ficare s-a constatat că un adaos de 0,35% silicocalciu în oală reduce albirea penei la 10—12 mm; mărindu-se cantitatea de modificator la 0,50%, gradul de albire se reduce la 5—6 mm, iar dacă se măreşte cantitatea de modificator la 0,7%, albirea se reduce la 0.

În fig. 15.5 este reprezentată reducerea gradului de albire a probelor pană în funcţie de adaosul de silicocalciu în oală. La aprecierea calităţii fontei prin probe pană trebuie să se facă următoarea remarcă. În foarte multe cazuri, turnătorii consideră fontă bună doar atunci cînd proba pană nu are zonă albă sau are zonă albă foarte mică; în astfel de cazuri se realizează o fontă cu caracteristici mecanice scăzute. Creşterea însă a mărimii zonei albe pe probele pană, determinată de scăderea gradului de saturaţie în carbon pune în evidenţă o mărire a caracteristicilor mecanice [8]. Pentru folosirea corectă a probelor pană, fiecare turnătorie trebuie să prelucreze un sistem propriu de diagrame de apreciere a gradului de albire, prin care să se prevadă şi cantitatea de modificator în funcţie de scopul urmărit, rezistenţa mecanică maximă sau prelucrabilitatea maximă [10].

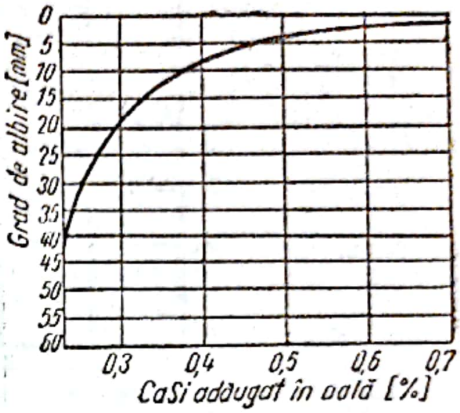


Fig. 15.5. Variaţia gradului de albire a probei pană în funcţie de cantitatea de silicocalciu adăugat în oală.

După aspectul rupturii probelor pană se constată că, efectul de modificare al silicocalciului asupra fontei elaborate cu 80% fier vechi şi aliaj cu siliciu din carbura de siliciu este constant pentru o cantitate fixă de modificator introdus în oala de turnare.

La fonta elaborată efectul de modificare al silicocalciului asupra rezistenţei la rupere la tracţiune şi asupra durităţii, în funcţie de gradul de saturaţie în carbon (SiC) este redat în fig. 15.6 şi fig. 15.7. În cele arătate se poate constata că fontele semisintetice şi sintetice sînt fonte superioare atît din punctul de vedere al rezistenţei la rupere cît şi din cel al

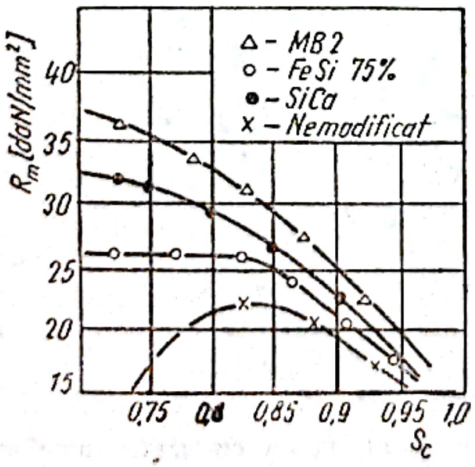


Fig. 15.6. Influenţa silicocalciului asupra rezistenţei la rupere, comparat cu influenţa altor modificatori în funcţie de gradul de saturaţie în carbon S_c.

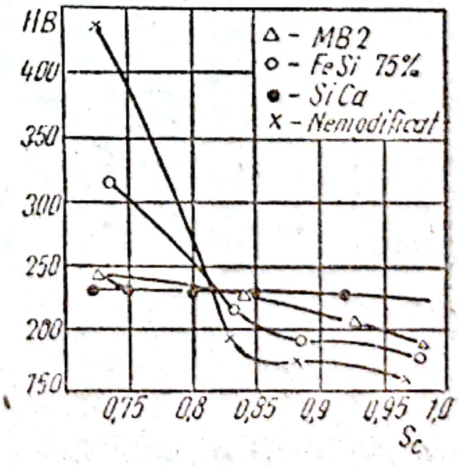


Fig. 15.7. Influenţa silicocalciu asupra durităţii, comparat cu influenţa altor modificatori, în funcţie de gradul de saturaţie în crabon S_c.

Scanned with OKEN Scanner

durității, fără adaosuri de alte elemente de aliere cum sînt Cr, Cu, V. Prin modificarea fontelor cu SiCa se obțin rezistențe de rupere la tracțiune de pînă la 300 daN/mm², iar durităţile capătă limite foarte strînse, putîndu-se aprecia că devin constante (fig. 7), calitate necesară la piesele turnate pentru mașinile unelte.

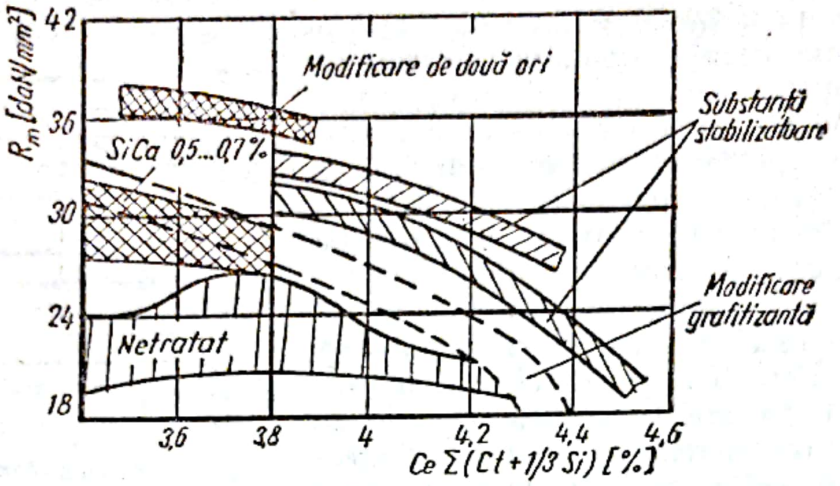


Fig. 15.8. Influența silicocalciului asupra fontelor comparat cu influența modificărilor grafitizanți, a adaosurilor antigrafitizante, a modificării duble asupra rezistenței la rupere a fontelor.

În fig. 15.8 este redată influența SiCa asupra rezistenței de rupere la tracțiune a fontelor elaborate, funcție de carbonul echivalent, comparată cu influența modificatorilor grafitizanți, a adaosurilor antigrafitizante și a modificării duble asupra rezistenței la rupere la tracțiune a fontelor cu grafit lamelar [9]. Influența silicocalciului a fost trasată pe diagramă în urma șarjelor experimentale elaborate. În a doua fază de apreciere a calității fontelor elaborate s-a efectuat *analiza metalografică* a tuturor șarjelor elaborate la toate seturile de probe turnate [13].

Examinarea probelor s-a făcut la microscop la măriri de 100× și 600×, în baza STAS 6905-76.

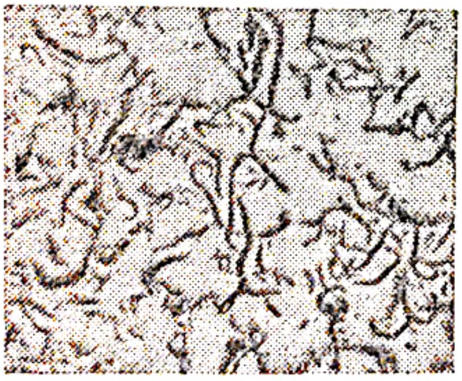


Fig. 15.9. Fontă cu grafit lamelar cu lamele arcuite, formînd aglomerări cu grad de izolare mic (R_m=314 N/mm² și duritatea HB=240). Neatacat, ×100.

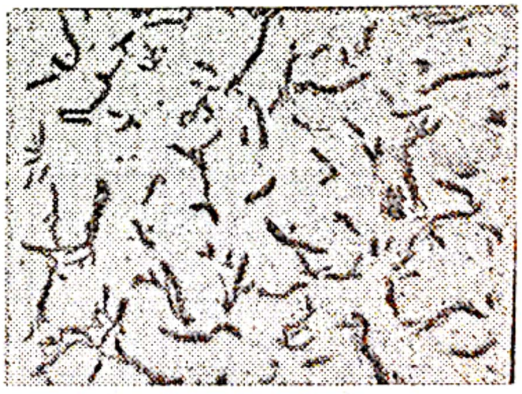


Fig. 15.10. Fontă cu grafit lamelar avînd grosime și repartizare uniformă la care în urma modificării apare vizibil tendința de îngroșare și rotunjire a vîrfului grafitului (R_m= =30,0 daN/mm², duritatea=240 HB, neatacată, ×100).

În fig. 15.9—fig. 15.17 sînt redate microstructurile, cu forma separărilor de grafit și structura masei metalice de bază, a fontelor la care s-au realizat cele mai mari rezistențe de rupere la tracțiune.

Fig. 15.11. Fontă cu grafit lamelar la care apare o combinare a formei grafitului (R_m=31,8 daN/mm², duritatea=240 *HB*). Neatacată, ×100.

Fig. 15.12. Fonta cu grafit lamelar la care apare tendința de orientare a grafitului interdendritic (R_m=31,8 daN/mm². duritatea=240 *HB*). Neatacată, ×100.

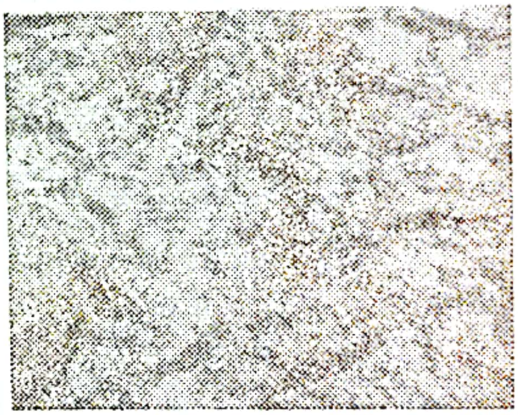


Fig. 15.13. Structura masei metalice de bază a fontelor cu grafit lamelar experimentate (atac nital 2%, ×600): *a* — fonta prezentată în fig. 15.10; *b* — fonta prezentată în fig. 15.11; *c* — fonta prezentată în fig. 15.12.

Scanned with OKEN Scanner

După cum se poate observa, în majoritatea cazurilor, folosirea carburii de siliciu ca element de carburare și aliere a fontelor cenușii determină apariția grafitului de tip A, finisat în urma modificării.

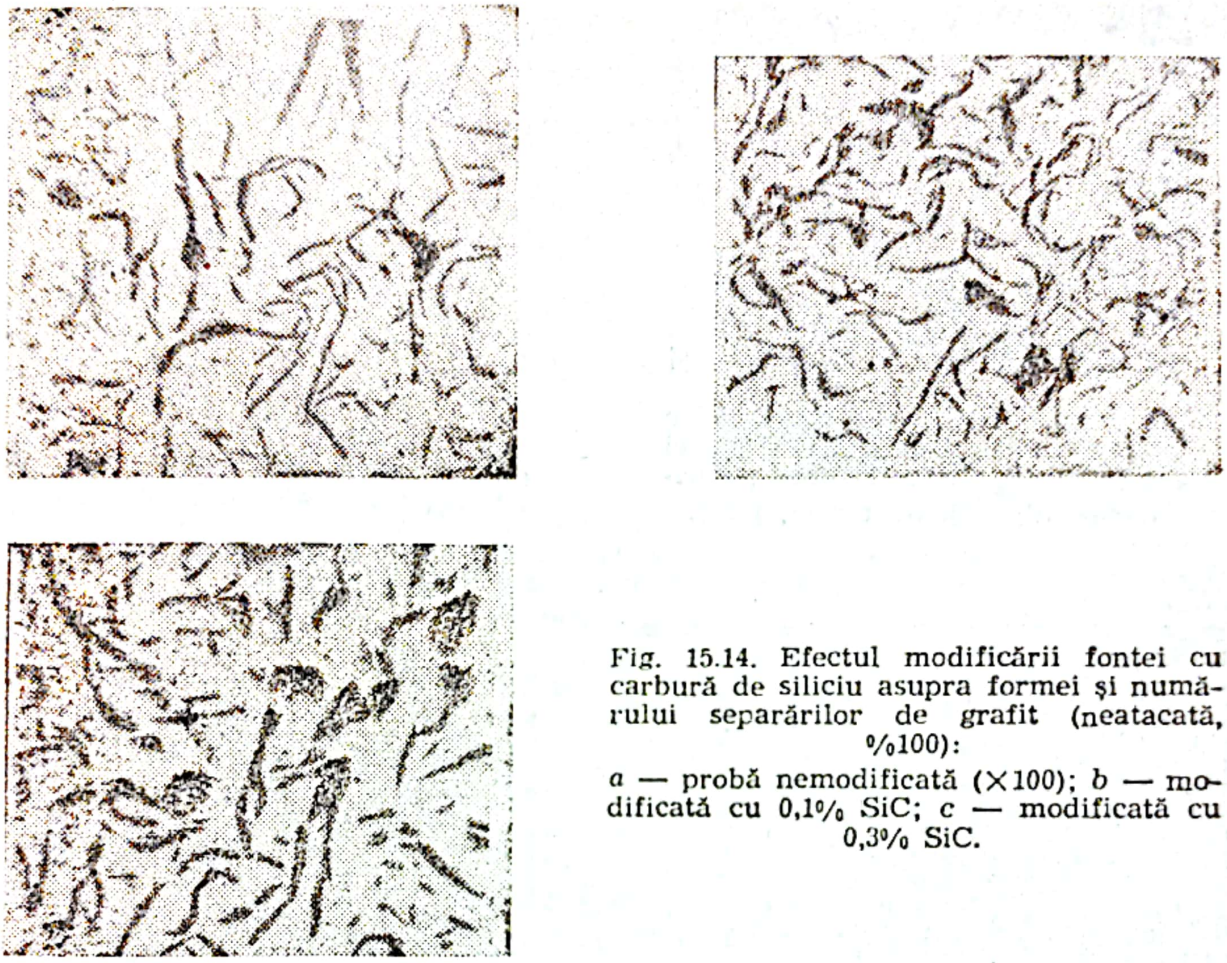


Fig. 15.14. Efectul modificării fontei cu carbură de siliciu asupra formei și numărului separărilor de grafit (neatacată, %100):
a — probă nemodificată (×100); *b* — modificată cu 0,1% SiC; *c* — modificată cu 0,3% SiC.

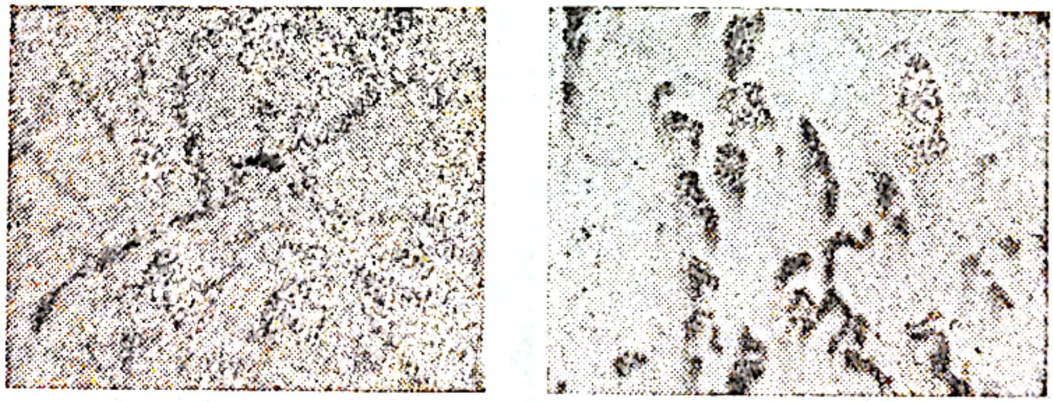


Fig. 15.15. Efectul modificării cu carbură de siliciu asupra structurii masei metalice de bază (×600):
a — fontă nemodificată; *b* — fontă modificată cu 0,5% SiC.

La modificarea fontelor sintetice cu carbură de siliciu se remarcă creșterea și finisarea separărilor de grafit în funcție de cantitatea de carbură de siliciu adăugată ca modificator în oală. La structura metalică

Scanned with OKEN Scanner

de bază se observă dispariția feritei în urma modificării cu 0,5% carbură de siliciu, comparativ cu eșantionul la care carbura de siliciu s-a adăugat numai în cuptor la elaborare.

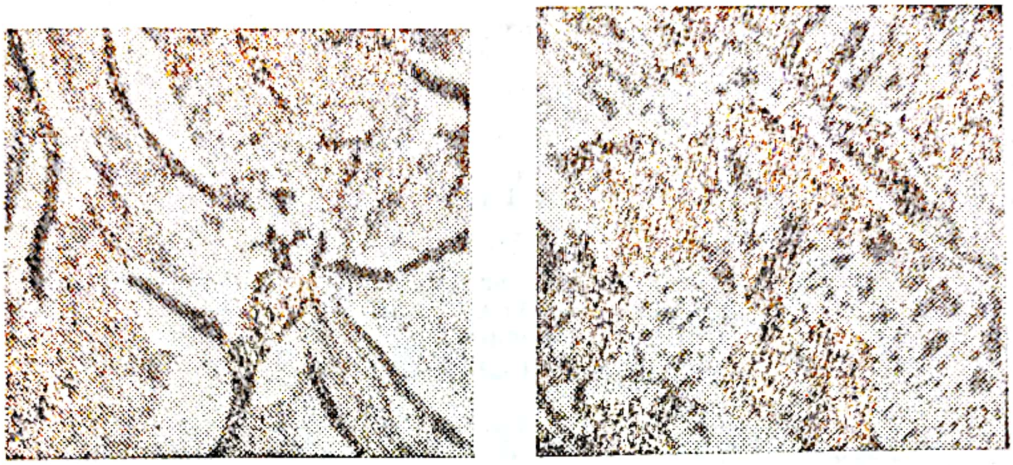


Fig. 15.16. Fontă tip Nihard elaborată cu carbură de siliciu (×600):
a — forma separărilor de grafit; *b* — structura masei metalice de bază.

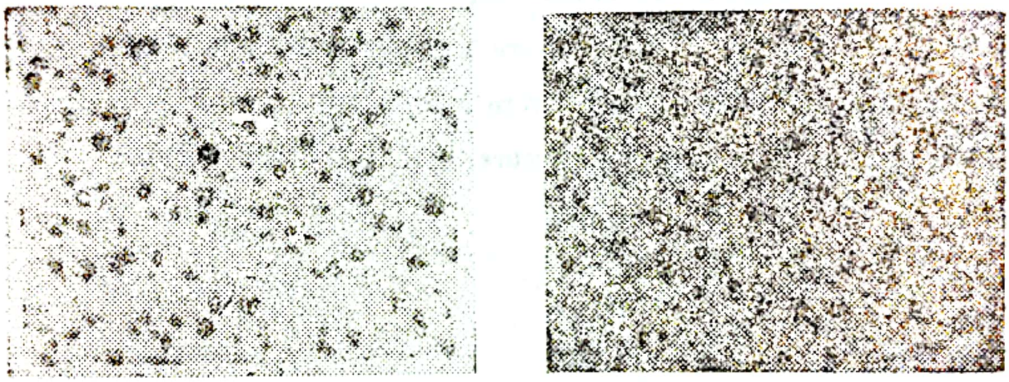


Fig. 15.17. Fontă cu grafit nodular elaborată cu carbură de siliciu (×100):
a — forma separărilor de grafit; *b* — structura masei metalice de bază.

Concluzii. Deșeurile de carbură de siliciu au o valoare metalurgică aparte, avînd conținuturi de elemente utile care le fac competitive cu materialele tradiționale utilizate în mod curent în elaborarea fontelor.

Din experimentările efectuate și din literatura de specialitate utilizată s-au putut desprinde următoarele concluzii:

1) Utilizarea deșeurilor cu conținuturi mari de siliciu, a carburii de siliciu este economică, permițînd obținerea unei fonte superioare cu cheltuieli reduse, mai mici decît în cazul utilizării ferosiliciului.

2) Recuperarea și refolosirea deșeurilor cu conținut de Si este importantă și din punctul de vedere al evitării poluării mediului înconjurător.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. * * * Manualul inginerului metalurg, vol. II. Bucureşti, Editura Tehnică, 1982.
2. Sofroni, L. ş.a. Turnarea fontei. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1985.
3. Riposan, I., Chişamera, M. Tehnologia elaborării şi turnării fontei. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1981.
4. Bandow, K., Wagner, K. Contribuţii la realizarea unei fonte cu rezistenţă superioară. În: GIESSEREI, nr. 13, 1962.
5. Nicola, M., Hoblea, T. Experimentări privind utilizarea deşeurilor de carbură de siliciu la elaborarea fontei în cuptor cu inducţie şi în cubilou. În: METALURGIA, nr. 6, 1987.
6. * * * Elaborarea şi turnarea fontelor de tip Mechanit pentru maşini-unelte. Bucureşti, Institutul Central pentru Documentare tehnică, 1966.
7. Hătărăscu, Ov. ş.a. Îndreptar de metalurgie. Bucureşti, Editura Tehnică, 1988.
8. Sofroni, L. ş.a. Fonte modificate cu proprietăţi superioare. Bucureşti, Editura Tehnică, 1971.
9. Piwowarsky, E. Fonte de înaltă calitate. Bucureşti, Editura Tehnică, 1967.
10. Ştefănescu, Cl., Cazacu, I. Tehnologii de executare a pieselor prin turnare. Bucureşti, Editura Tehnică, 1980.
11. Sofroni, L. ş.a. Fonte albe rezistente la uzare. Bucureşti, Editura Tehnică, 1987.
12. Sofroni, L. ş.a. Fonta nodulară. Bucureşti, Editura Tehnică, 1978.
13. Gâdea, Suzana, Petrescu, Maria. Metalurgie fizică şi studiul metalelor. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1983.
14. Jukov, A. A. ş.a. Procesul de grafitizare la fonte. În: Liteinie Proizvodstvo, nr. 12, 1986.
15. Codilean, T. ş.a. Procedeu de elaborare a fontei silicioase. În: Brevet România, nr. 97895, 1989.
16. Riposan, I. ş.a. Fonta bainitică. Bucureşti, Editura Tehnică, 1989.

Scanned with OKEN Scanner

TM
GM

VI

INGINERIA CALITĂȚII
FIABILITATE

Scanned with OKEN Scanner

16

Creşterea rezistenţei la uzare a părţilor în lucru ale matriţelor cu suprafaţă de separaţie*

V. E. Morar
A. S. Ciobanu
A. T. Crăciun
Candidaţi în ştiinţe tehnice

Durabilitatea matriţelor cu suprafaţă de separaţie se determină în principal după starea stratului superficial al părţilor în lucru. S-a stabilit că la scăderea durităţii matriţei şi poansonului de la 57 *HRC* pînă la 51 *HRC* durabilitatea matriţei din oţel U8A (GOST 1435-74) (echivalent cu OSC 8, conform STAS) la matriţarea pieselor din oţel St 3 (echivalent OL 37), cu grosimea de 6 mm a scăzut de patru ori, iar a matriţei din oţel H12M (GOST 5950-73) la matriţarea pieselor din oţel 12 H18N10T (GOST 5949-75) (echivalent mărcii STAS 10TiNiCr 180) de 30 ori [1]. Într-adevăr, durabilitatea matriţelor cu suprafaţă de separaţie depinde mult de tratamentul lor termomecanic. Duritatea optimă a suprafeţelor de lucru ale matriţelor este de 57...62 *HRC*. În afară de aceasta mare importanţă au metodele de prelucrare finală a microreliefului suprafeţelor în frecare. Rectificarea, ca metodă de prelucrare finală a suprafeţelor de lucru la executarea şi recondiţionarea matriţelor presupune şi schimbarea însemnată a stării stratului superficial şi a muchiilor tăietoare ale matriţei şi poansonului.

La rectificare, pe suprafeţele de lucru ale matriţelor apar arsuri şi microfisuri, a căror viteză de dezvoltare depinde de caracterul microreliefului, de parametrii de durificare prin ecruisare, felul şi nivelul tensiunilor reziduale, adîncimea de pătrundere a cărora atinge 150... 200 μm. Acest fapt determină actualitatea cercetării procedeelor de îndepărtare a defectelor de pe suprafaţa de lucru a matriţelor rectificate. Cercetările efectuate în acest sens au permis stabilirea pentru prelucrarea finală a suprafeţei de lucru a poansonului a uneia dintre metodele de deformare plastică superficială — netezirea.

În continuare se prezintă rezultatele cercetărilor rezistenţei la uzare a suprafeţei de lucru a poansonului rectificat comparativ cu poansonul netezit prin utilizarea diferitelor medii tehnologice de ungere-răcire.

Poansoanele din oţel H12M cercetate, cu $\Phi=6$ mm, prelucrate la cald după o tehnologie de întreprindere s-au rectificat la $R_a=0{,}1...$ 0,16 μm pe maşina de rectificat rotund model 3 A 110 cu disc abraziv marca 24A16-25S1K la $v_p=35$ m/s; $v_d=0{,}23...0{,}25$ m/s; avansul longitudinal $s_l=12...28$ mm/rot; $t=0{,}005...0{,}015$ mm. Mediul de ungere, ulei mineral cu petrol lampant.

---

* Traducere de ing. Paul Iordănescu după „Vestnic Maşinostroenia" (U.R.S.S.), nr. 5, 1989, p. 45—48.

Scanned with OKEN Scanner

Parte din poanson după rectificare s-a netezit cu sculă de diamant sintetic tip ASPK-3 cu suprafață de lucru sferică (R_{sf}=1,5 mm) pe strung de filetat cu schemă de încărcare constantă. Forța normală de netezire P_n=100 ... 200 N; avansul longitudinal, s_1=0,07 mm/rot; frecvența de rotație a pieselor, n_r=210 ... 250 min^{-1}. Ca mediu tehnologic de ungere-răcire s-a utilizat: ulei industrial I-20A, utilizat de obicei la netezirea cu diamant; material de ungere tehnologic „Ucrinol 8" [2], utilizat la matrițarea la rece; materiale tehnologice de ungere pe baza uleiului I-20 A (60% masă) și unsorile „K" și „M" (40% masă), pregătite prin amestecarea unor adaosuri imediat înainte de folosire.

Suprafața rectificată, cu rugozitatea R_a=0,5 ... 0,63 μm, prin netezire ajunge la R_a=0,08 ... 0,63 μm. S-a stabilit că regimul optim, care asigură cea mai mică rugozitate și cea mai mare duritate a suprafeței este: P_a=180 N; s_1=0,07 mm/rot; n_d=250 mm^{-1}. La P_a>180 N cresc deformațiile plastice și înălțimea denivelărilor și de asemenea apar fisuri microscopice, care scad rezistența stratului superficial al pieselor.

Analiza la microscopul electronic a arătat că suprafața rectificată are în stratul superficial, mai evidente decît în cea și rectificată, defecte sub formă de rizuri și umflături. Rizurile ajung la adîncimi de 0,6 ... 0,9 μm și mai mult. Suprafața netezită, în raport cu cea rectificată are un microrelief mai omogen, este mai plată, denivelările nedepășind 5 ... 12% în suprafața totală cercetată.

Netezirea influențează favorabil și asupra altor parametri de calitate ai suprafeței [5]. Astfel, după netezirea poansonului din oțelurile U8A și H12M microduritatea H_{100} a crescut cu 195, respectiv 150 unități, deci cu 25 ... 20%, la adîncimea zonei întărite de 250 ... 300 μm. În stratul superficial al materialului poansonului netezit cu P_a=150 ... 200 N au apărut tensiuni remanente de compresiune σ=725 ... 828 MPa. Caracterul distribuției tensiunilor de compresiune în adîncimea stratului superficial al metalului pieselor este uniform pentru toate regimurile de prelucrare prin netezire; la o oarecare adîncime această distribuție prezintă un maximum, iar spre suprafața piesei un minimum. Cu creșterea forței P_a pînă la 200 N are loc o creștere iar la P_a=200 ... 300 N o oarecare scădere a tensiunilor de compresiune, adîncimea de apariție a lor scade, iar ca urmare maximum se deplasează mai jos. Adîncimea de pătrundere a tensiunilor de compresiune atinge 250 ... 300 μm, ceea ce este de exemplu de 1,5 ori mai mare ca cea măsurată la durificarea prin deformare [6].

Analiza caracteristicilor stratului superficial obținute (fig. 16.1) arată că la netezirea suprafeței poansonului forța P_a nu trebuie să fie mai mare de 250 ... 300 N; aceste valori ale P_a se deosebesc puțin de valorile calculate cu formula [7, 8]

$$P_a = 2\pi R_{sf} h_1 B \varepsilon^c,$$

unde: h_1 este înălțimea redusă cu segmentul sferic (la netezire h_1= =0,01 mm); B — tensiunea reală; ε — deplasarea relativă la compresiune; c — indicatorul întăririi superficiale a mărcii de oțel date.

Suprafața poansonului, prelucrată prin netezire cu diamant, la o rugozitate mică (R_a=0,12 ... 0,16 m) se distinge prin mare rezistență la uzare [5]. Aceasta se explică prin faptul că pe suprafața de uzare acționează parametrii profilului rugozității, nu numai de mare înălțime, ci și cei legați de forma neregularităților profilului. Sectoarele inițial curbe ale suprafețelor de sprijin cercetate (fig. 16.2) arată că la toate nivelurile de apropiere suprafața de sprijin este mai mare în cazul netezirii

Scanned with OKEN Scanner

decît în acela al rectificării. În afară de aceasta forma neregularităților (raza de racordare a vîrfurilor microneregularităților și unghiul profilului lor în raport cu orientarea generală a suprafeței) și distribuția lor pe înălțime în cazul suprafețelor prelucrate prin diferite procedee este diferită. În tabelul 16.1 sînt dați parametrii de înălțime (R_a și R_{max}), caracteristicile calității suprafeței (unghiul β și raza r de racordare a microneregularităților), indicatorii suprafeței de sprijin, b și ν, coeficientul adimen-

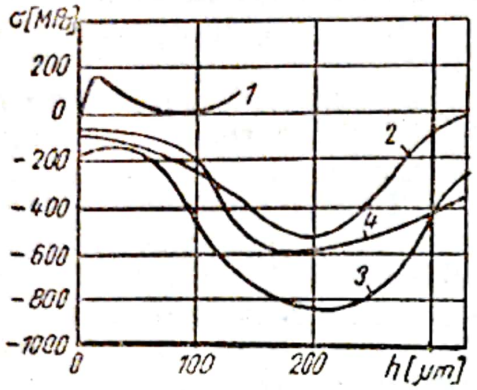


Fig. 16.1. Distribuția tensiunilor remanente pe adîncimea h a stratului superficial al pieselor de oțel H12M după rectificare (*1*) și netezire cu scule diamantate (R_{sf}=1,5 mm) cu P_a=100 (*2*), 200 (*3*) și 300 N (*4*) la v=0,65 ... 0,85 m/s.

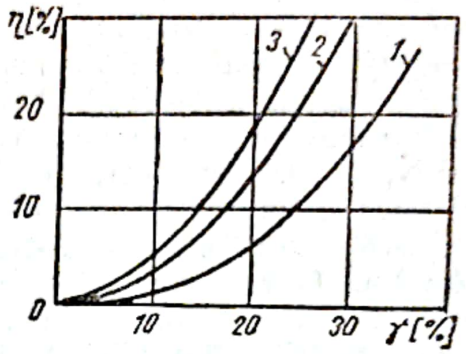


Fig. 16.2. Porțiunea inițială a curbelor suprafețelor de sprijin ale suprafețelor (oțel H12 M) la R_a=0,12 ... 0,16 μm, prelucrate prin rectificare (*1*) și prin netezire (R_{sf}=1,5 mm) cu P_a=180 (*2*) și 200 N (*3*) la s_1=0,07 mm/rot; n=250 min^{-1}.

sional Δ [9] și coeficientul capacității de uzare a suprafeței de lucru a poansonului după netezire cu diamant. Corespunzător netezirii

$$C=\frac{\Delta h}{S(q-q_k)},$$

unde: $\Delta h/\Delta S$ este intensitatea medie de uzare a suprafeței de lucru a poansonului; q — presiunea specifică; q_k — presiunea specifică la suprafața de frecare în momentul pătrunderii hidrodinamice a unsorii (la $\Delta h/\Delta S$=0, adică $q \geqslant q_k$).

Tabelul 16.1. **Caracteristici ale suprafeței de lucru a poansonului după netezire cu diamant**

Oțelul	R_a	R_{max}	r	r/R_{max}	ν	b	β grd	$\Delta \cdot 10^3$	$C \cdot 10^4$ $\frac{mm}{m} \cdot \frac{mm^2}{N}$
	μm								
U8 A	0,15 / 0,12	0,95 / 0,8	68 / 1 200	72 / 1 500	2,5 / 2,3	3,5 / 9	5 / 50	8,7 / 0,2	0,9 / 0,3
H 12M	0,16 / 0,12	1,6 / 0,9	89 / 1 560	56 / 1 723	2,7 / 2,5	5,5 / 8	3 / 25	4 / 0,2	0,7 / 0,2

Observație. La numărător caracteristicile suprafeței rectificate iar la numitor ale suprafeței netezite.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza datelor obținute (v. tabelul 16.1) arată că suprafața prelucrată prin netezire se caracterizează, în raport cu suprafața prelucrată prin rectificare, prin raport mare r/R_{max} și valori mici pentru C. Aceasta arată că suprafața respectivă poate avea o mai mare rezistență la uzare și un coeficient mai mic de frecare [5, 9, 10].

Rezultatele obținute prin analiză de durată, în producție, asupra prelucrării prin rectificare și netezire, după cercetarea poansoanelor, la străpungerea cu acestea, în piesă din oțel St 3, cu $g=2$ mm a unui orificiu cu diametru de 5,4 mm prin intermediul unei prese cu manivelă tip K 2330 B cu $P_a=1\,000$ kN sînt date în fig. 16.3. S-au utilizat poansoane din oțel U 8A (52-56HCR) cu rugozitate inițială a suprafeței părții active $R_a=1{,}2\ldots 0{,}8$ μm; ca mediu tehnologic de ungere-răcire s-au utilizat materiale de ungere „M" și unsoare tehnologică [13] pe baza ei [4], destinate pentru utilizarea în procesele de prelucrare sub presiune a metalelor. În tabelul 16.1 se dau rezultatele măsurătorilor după perforarea cu poansonul a 10 000 orificii; precizia de prelucrare a orificiilor s-a determinat în piesă cu un microscop de atelier tip UIM 21, profilograma și ciclograma suprafeței de lucru a poansonului trasîndu-se cu profilometrul — profilograf model 201 și ciclograful model 218.

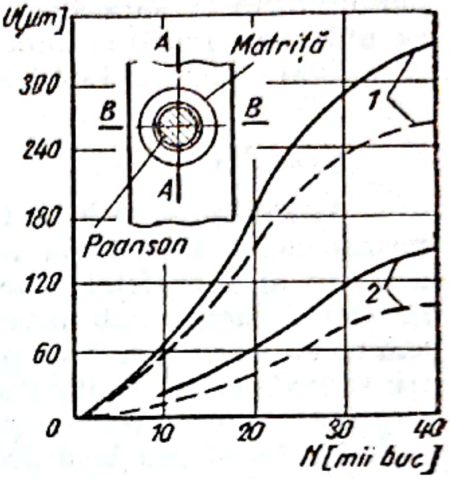


Fig. 16.3. Dependența uzurii lineare U a poansoanelor perforatoare rectificate *(1)* și nețezite după rectificare *(2)* în secțiunile *A—A* (linie plină) și *B—B (linie întreruptă).*

După cum rezultă din fig. 16.3, după obținerea prin perforare a 40 000 orificii durabilitatea poansonului prelucrat în plus prin netezire s-a dovedit că a crescut de 2,5 . . . 3 ori în raport cu a celui numai rectificat. Din acest fapt rezultă că uzura suprafeței de lucru a poansonului depinde nu numai de duritatea lui ci și de microrelieful suprafeței (consolidarea metalului în straturi superficiale foarte subțiri).

Într-adevăr, netezirea asigură crearea condițiilor favorabile pentru curgerea metalului în suprafața de lucru, îmbunătățirea condițiilor de ungere și de schimb de căldură în zona deformațiilor plastice, micșorarea strivirii și uzurii suprafeței de lucru și de asemenea pentru interpătrunderea microneomogenităților matriței în cele ale materialului semifabricat.

Prezența microreliefului uniform, obținut prin netezire după rectificare în concordanță cu materialul tehnologic de ungere ajută la formarea pe suprafața de lucru a peliculelor de adsorbție, care presupune formarea legăturilor de adeziune între suprafețele în contact. Peliculele, reluate continuu, apără sigur și separă suprafețele în contact. În procesul de frecare la limită are loc deformarea celor mai subțiri straturi în contact, care provoacă distorsionarea rețelei cristaline: crește numărul de vacanțe și dislocații, care devin centre active ce contribuie la creșterea activității fizico-chimice a suprafeței. În procesul de uzare apare o suprafață cu înaltă activitate datorită prezenței atomilor chimic activi. Prin interacțiunea chimică a acesteia cu cuprul din compoziția de ungere se formează pelicule care plachează cu efect de transfer selectiv. Peliculele de placare ajută, de fapt, la creșterea suprafeței de contact, la scăderea încărcării specifice, a coeficientului de frecare și, ca urmare, la creșterea rezistenței la uzare a suprafețelor în frecare.

Scanned with OKEN Scanner

Înalta capacitate de adeziune a materialelor tehnologice de ungere, utilizate la poansoanele cercetate este determinată de prezența în acestea a caprolactamei, care are o înaltă activitate superficială, iar lubrifiantul tehnologic [13], conținînd unsoare „M" [4] asigură realizarea în locurile de contact a unei difuzii selective, ceea ce ajută în mare măsură la o mai mare separare a suprafețelor în contact.

Cercetările în producție ale poansoanelor de perforare, cu microrelief uniform al suprafeței de lucru obținută prin rectificare și netezire, cu utilizarea lubrifiantului tehnologic au fost efectuate la întreprinderile de mașini electrice și de instalații de vibrare din Chișinău.

CONCLUZII.

1) Finisarea prin netezire cu diamant a suprafețelor de lucru ale poansoanelor folosite la matrițare permite să se obțină un microrelief uniform al suprafețelor de lucru ale sculei și utilizarea eficace a materialelor de ungere, obținerea pe acestea a unor pelicule cu proprietăți constante de adsorbție, care presupune formarea legăturilor de adeziune între suprafețele în contact ale poansonului cu materialul matrițat, ceea ce ajută la creșterea rezistenței la uzare a poansonului.

2) Rezistența la uzare a poansonului de perforare, cu suprafața de lucru rectificată și netezită, la perforarea orificiilor în oțel cu conținut mic de carbon și grosimea de 2 . . . 5 mm, a fost de 2,5 . . . 3 ori mai mare ca cea a celui prelucrat numai prin rectificare.

BIBLIOGRAFIE

1. Romanovski, V. P. Indicatorii uzurii și durabilitatea matrițelor de perforare și de tăiere. În: Vestnic mașinostroenie, nr. 9, 1974, p. 20 . . . 23.
2. Katruș, R. V. ș.a. Noi fluide de ungere-răcire pentru matrițarea la rece. În: Himia i tehnologhia topliv i masel. nr. 11, 1976, p. 14 . . . 17.
3. Unsoare pentru cuplaje metal-metal și metal-polimer. Patent 41 120, MKI3S30M 7·02,7/30.
4. Unsoare. Patent 819 159 (U.R.S.S.), MKI3S 10M 7/02,7/30.
5. Hvorostunia, L. A. ș.a. Aprecierea influenței parametrilor suprafeței rectificate și netezite. În: Vestnic mașinostroenia, nr. 1, 1978, p. 63 . . . 66.
6. Jasimov, M. M. Dirijarea calității suprafețelor prin deformare plastică superficială. Alma-Ata, Nauka, 1986, 208 p.
7. Iațenko, V. K. ș.a. Creșterea rezistenței pieselor de mașini prin netezire cu diamant. Moscova, Mașinostroenie, 1985, 232 p.
8. Hvorostuhin, L. A. ș.a. Netezirea cu diamant a oțelului inoxidabil (în cazul oțelului 1H18N9T). În: Izv. vuz. Mașinostroenie, nr. 11, 1967, p. 131 . . . 135.
9. Kraghelski, I. V. ș.a. Bazele calculului de frecare și uzare. Moscova, Mașinostroenie, 1977, 526 p.
10. Prujanski, L. Capacitatea de frecare a suprafețelor prelucrate. Moscova, Nauka, 1975, 65 p.
11. Hrușciov, M. M. Prujanski, L. Iu. Evaluarea de ansamblu a capacității de uzare a otelului prelucrat superficial. În: Frecare, uzare și calitatea suprafețelor prelucrate (culegere de articole), 1973, p. 107 . . . 118.
12. Hrușciov, M. M. Prelucrabilitatea aliajelor de lagăre și fusuri. Moscova—Leningrad, Academia de științe a U.R.S.S., 1946.

Scanned with OKEN Scanner

17

Omologarea proceselor tehnologice

Dr. *Viorel Gh. Vodă*
Centrul de Statistică Matematică

1. Introducere

După cum este binecunoscut [3], toate procesele tehnologice sînt astfel organizate încît să poată genera colectivităţi de produse similare în care să se regăsească încorporate caracteristicile unui anumit model conceptual (proiectul produsului respectiv). Fiind vorba de generarea unor colectivităţi de produse, este aproape evident faptul că acestea nu se pot realiza decît prin funcţionarea procesului tehnologic o perioadă dată de timp, în care, pentru ca unităţile de produs să fie cît mai aproape calitativ de modelul conceptual, sistemul de factori care guvernează procesul trebuie să fie ţinut sub control să fie cît mai stabil posibil.

Datorită variabilităţii intrinseci (inerente) a proceselor de fabricaţie, unităţile de produs nu pot fi absolut identice — nici între ele, nici cu modelul care le stă la bază — identitatea realizîndu-se doar statistic, la nivelul unei probabilităţi dorită cît mai mare, adică apropiată ca valoare de 1.

Ca o consecinţă a acestei situaţii obiective ce caracterizează producţia industrială, se desprind două idei în afara cărora orice raţionament în sfera producţiei industriale, este fals: a) un proces tehnologic poate asigura o reproducere a modelului unui produs numai cu o fidelitate mai mică sau cel mult egală (în mod excepţional) cu 100%; b) unica informaţie în stare să pună în evidenţă nivelul acestei fidelităţi de reproducere a modelului, tendinţele de evoluţie ale acestui nivel, precum şi modificările tendinţelor ce se manifestă consecutiv unor decizii tehnico-economice, este informaţia statistică.

Apare deci clar faptul că performanţele specificate printr-un proiect nu pot fi îmbunătăţite pe seama procesului tehnologic şi, în plus, nivelul de fidelitate al reproducerii conceptului unui produs de către un proces de producţie special organizat în acest sens, reprezintă una din informaţiile esenţiale în evaluarea (estimarea) calităţii care poate fi aşteptată de la produsul respectiv.

Evaluarea nivelului de fidelitate al reproducerii modelului face parte din activitatea mai complexă de control al calităţii. Fidelitatea reproducerii modelului specificat este însă scopul final al procesului de fabricaţie. Realizarea unei fidelităţi adecvate nu poate avea loc decît prin intermediul unor procese de fabricaţie stabilizate şi optimizate din punct de vedere tehnico-economic, deci procese identificabile care se pot omologa.

Scanned with OKEN Scanner

Omologarea unui proces tehnologic implică în primul rînd analiza comportării sale în desfășurarea activității de fabricare a produsului, stabilizarea și optimizarea sa în limite acceptabile de variație. Aceste trei elemente sînt de regulă cauzele — care neglijate — sînt sursa unei producții necorespunzătoare, adică o producție în care procentul de produse neconforme specificațiilor este mare și neuniform în timp conducînd la pierderi economice.

Scopul lucrării de față constă în elucidarea unor aspecte mai puțin cunoscute legate de etapele premergătoare omologării proceselor tehnologice.

2. Conceptul de omologare a proceselor tehnologice

Noțiunea de omologare a proceselor de fabricație este relativ recentă [1]. Originea acesteia stă în conceptul de „stare de control statistic" introdus de întemeietorul controlului statistic modern, inginerul Walter A. Shewhart (1891—1967). În lucrările sale fundamentale el a stabilit două elemente esențiale relativ la interfața dintre statistica matematică și tehnologie: a) racordarea metodelor statistice la aspectul economic; b) starea de control statistic ca fundament al efectuării inferenței statistice.

Explicînd acest al doilea element, W. E. Deming [4], arăta că o inferență — dacă vrea să posede valoare științifică — trebuie să constituie în final o predicție privind datele experimentale ce se vor obține în viitor (în experimente ulterioare analizei la un moment dat).

Dacă această inferență este executată pe baza teoriei repartițiilor statistice, atunci experimentele care constituie suportul fizic (material) pentru această inferență trebuie să provină dintr-o stare de control statistic, în care parametrii sistemului variază între limite admisibile. Pînă în momentul în care această stare nu este atinsă, nu se poate vorbi de modele, de repartiții statistice care să descrie în cazul nostru, comportarea caracteristicilor de calitate generate într-un anumit proces tehnologic.

Cu scopul studierii variabilității caracteristicilor de calitate, Shewhart a imaginat și instrumentele statistice adecvate. Într-un raport tehnic al firmei Western Electric din New Jersey, din 1924 el a prezentat prima fișă de control statistic — cunoscuta fișă de tip p — pentru procentul de defective. Această fișă este destinată urmăririi evoluției calității loturilor deja fabricate și livrate, prin aplicarea metodologiei acesteia reușindu-se testarea stabilității parametrului *fracțiune defectivă*. Apariția unei fracțiuni defective neconvenabile în loturile de produse generate de un anumit proces de fabricație este însă o consecință directă a faptului că procesul respectiv se manifestă în limite neacceptabile de variație. Pentru studiul acestei variabilități, Shewhart a creat cunoscutele sale fișe de control ($\bar{X}$, R), cu ajutorul cărora se investighează comportarea celor doi parametri de bază ai procesului — centrarea (estimată printr-o medie) și precizia (estimată printr-o amplitudine).

Este necesară aici o discuție mai detaliată, deoarece mai există încă neînțelegeri cu implicații importante asupra rolului real al fișelor ($\bar{X}$, R). Mai întîi, să facem observația că în construirea fișelor de control care constituie instrumentul efectiv de verificare a stabilității, Shewhart a por-

Scanned with OKEN Scanner

nit de la un fapt binecunoscut în statistica matematică, şi anume: dacă $x_1, x_2, \ldots x_n$ este un eşantion cu un efectiv de n măsurări asupra unei caracteristici de calitate X a cărei comportare este modelată de o repartiţie oarecare $F_X(x)$ continuă dar necunoscută, atunci media eşantionului x este o variabilă aleatoare repartizată aproximativ normal cu media $E(X)$ şi dispersia $\mathrm{Var}(X)/n$. Această proprietate are loc chiar şi pentru valori mici ale efectivului n. Shewhart a realizat şi o „experienţă statistică" în acest sens, notînd pe bucăţi identice de carton valori concrete pe care apoi le-a amestecat într-o urnă din care a extras apoi eşantioane de diferite efective, studiind comportarea mediilor acestor eşantioane (el a utilizat peste 3 000 astfel de valori: ceea ce a efectuat Shewhart în anii '30 se numeşte astăzi un „proces de simulare" şi se realizează evident cu ajutorul calculatorului.

Proprietatea menţionată are o deosebită semnificaţie practică, deoarece o eroare fundamentală care se face în aplicarea metodelor statistice în controlul calităţii este aceea de a se debuta cu teste sofisticate de verificare a normalităţii datelor de măsurare. Ori, este aproape evident faptul că un proces tehnologic instabil nu va furniza caracteristica de calitate studiată, cu o repartiţie normală (s-a atribuit procesului calificativul „instabil", deoarece aproape în majoritatea cazurilor atunci cînd se derulează pentru prima oară un proces, acesta este de regulă instabil, întrucît factorii care îl guvernează nu se află „sub controlul experimentatorului").

Concluzia falsă care se trage de obicei în această situaţie, este următoarea: „metodele statistice nu pot fi aplicate, deoarece procesul nu este stabilizat". Această idee falsă provine din neînţelegerea (sau necunoaşterea) faptului că fişele de control ($\bar{X}$, R) au roluri multiple, dintre care cel de analiză, stabilizare şi optimizare a procesului tehnologic este cel esenţial.

Stabilizarea — sau atingerea stării de control statistic — creează premizele desfăşurării unei inferenţe statistice pe baza teoriei repartiţiilor statistice. Un proces anarhic poate în cel mai bun caz să furnizeze un conglomerat (amestec) de repartiţii, a căror pondere şi formă analitică este aproape imposibil de specificat. În plus, procesele nestabilizate generează frecvent aşa-numitele „valori aberante" ale măsurărilor, care distorsionează calculele şi conduc la concluzii false. Stabilitatea este asimilată unei variaţii aleatoare în interiorul limitelor de control. Această stabilitate trebuie însă să se afle la un nivel convenabil, astfel încît fracţiunea defectivă generată să se afle la un nivel corespunzător. Din acest motiv, stabilitatea procesului este doar o condiţie necesară omologării sale.

Vom analiza acum problema indicelui de capabilitate. Noţiunea de indice de capabilitate a unui proces aparţine nu întîmplător, tot lui W. A. Shewhart (1931) [4]. Shewhart a pornit de la următoarele consideraţii: se ştie că la proiectarea unui produs, fiecărei caracteristici de calitate a acestuia i se atribuie un interval de variaţie tolerat $[T_i, T_s]$ în care se permite ca respectiva caracteristică să ia valori. Valorile limită, T_i şi T_s se mai numesc specificaţii tehnice sau limite de toleranţă. Desigur, este posibil să avem limite unilaterale de toleranţă, după cum este posibil ca pentru unele caracteristici să nu se aloce limite de toleranţă. În multe cazuri, la caracteristici cu limite duble de toleranţă, centrul intervalului se află la valoarea nominală a caracteristicii, după cum în multe cazuri, toleranţele pot fi asimetric dispuse faţă de această valoare nominală. Acest

Scanned with OKEN Scanner

lucru este însă fără importanță în analiza, stabilizarea sau optimizarea procesului de fabricație în care aceste caracteristici sînt generate.

Din cauza unei multitudini de factori care acționează în procesul, generator al produsului, este foarte plauzibil ca acesta să nu poată realiza întocmai valorile caracteristicii X în intervalul de toleranță prescris prin documentație. Procesul are propriile sale limite de variație (toleranțe), pe care Shewhart le-a numit „statistice".

Nu întotdeauna, intervalul natural de toleranță (INT) coincide cu cel specificat. Shewhart a estimat acest INT prin indicatorul 6s, unde s este abaterea standard calculată cu valorile măsurate ale caracteristicii. Este limpede că poziția unui interval față de celălalt va influența valoarea fracțiunii defective ce se va obține relativ la caracteristica analizată. Shewhart a numit raportul $(T_s—T_i)/6\sigma$ (sau $6s$), indicator empiric de capabilitate al procesului, iar prin extensie, expresia $C_p=(T_s—T_i)/(L_s—L_i)$ a fost numită *indice de capabilitate*.

Un proces capabil de a furniza produse cu o fracțiune defectivă mică, este acela pentru care $C_p \geqslant 1$. Așadar, pentru a putea îndeplini condițiile de omologare, nu este suficient ca un proces să producă o singură dată (din pură întîmplare, sau cu eforturi speciale) un produs pentru care caracteristicile sale de calitate respectă intervalul toleranțelor specificate. Acest proces trebuie să fie astfel organizat încît să furnizeze succesiv (deci în timp), în stare de stabilitate statistică, produse cu caracteristici pentru care indicele de capabilitate să se mențină o vreme cît mai îndelungată, supraunitar.

În aceste condiții, procesul poate fi considerat omologat din punct de vedere statistic și producția poate fi derulată cu ferma convingere că aplicînd în continuare procedee de rutină în vederea menținerii status-quo-ului atins, se va obține o producție economică și de nivel calitativ adecvat. Apare însă în mod firesc următoarea întrebare: prin ce mijloace pot fi atinse cerințele capabilității? Tot Shewhart a arătat că deși problema toleranțelor naturale este importantă și totodată foarte dificilă din punct de vedere matematic, instalarea stabilității procesului este „cheia de boltă" a problemei omologării și această problemă este de competența conducerii din domeniul respectiv.

Marile întreprinderi din țările avansate tehnologic au încercat să pună la punct metodologii de stabilizare pe baza fișelor $(\bar{X}, R)$ și a variantelor acestor fișe. Experiența acumulată la Western Electric, întreprindere la care au lucrat ingineri și matematicieni de renume, ca W. A. Shewhart, Harold F. Dodge, H. G. Romig ș.a., s-a concretizat prin apariția în 1956 a primei ediții a „Manualului de Control Statistic al Calității", lucrare cu circuit limitat, în care se tratează pentru prima oară, în mod global problema fișelor de control (ultima ediție, 1984).

În [1] se arată că în ultimul deceniu, întreprinderile constructoare de mașini îndeosebi, au început să acorde o atenție specială problemei omologării proceselor tehnologice. Astfel, la firma Ford Motor Co. din S.U.A., s-a elaborat un document intitulat „Controlul continuu al proceselor tehnologice și îmbunătățirea capabilității acestora".

În [1] se arată că în literatura de specialitate din Japonia, relativ la indicele de capabilitate, se preferă utilizarea expresiei $C_p=(T_s—T_i)/(L_s—L_i)$ în locul indicatorului empiric, deoarece în cazurile în care repartiția caracteristicii nu mai este normală, intervalul 6s nu mai descrie corect intervalul natural de toleranță.

Scanned with OKEN Scanner

3. Procedee de obținere a condițiilor de omologare a proceselor tehnologice

Fișa ($\overline{X}$, R) — instrument statistic de stabilizare a proceselor. Fișa de control statistic de tip Shewhart a fost proiectată inițial cu scopul furnizării de informații asupra procesului studiat, în trei etape distincte: 1) analiză (investigare); 2) atingerea stării de stabilitate; 3) verificarea de rutină a reproducerii în timp a stabilității.

Aceste informații sînt esențiale pentru validarea statistică a proceselor tehnologice în vederea declanșării producției destinate generării tipului de produs proiectat pentru procesul respectiv. Este deci necesar ca procesul să fie influențat numai de factori cu acțiune întîmplătoare (ceea ce constituie obiectul activității primelor două faze, ajungîndu-se ca în ultima fază, procesul să fie condus prin acțiunea asupra parametrilor centrare și precizie estimați respectiv prin $\overline{X}$ și R.

După cum se știe, fișa ($\overline{X}$, R) are două componente care se reprezintă separat. În perioada de analiză, componenta R este de importanță majoră, datorită parametrului pe care îl urmărește: precizia procesului. Analiza debutează cu componenta R, al cărei comportament poate pune direct în lumină unele cauze ale instabilității procesului. Componenta $\overline{X}$ este studiată în lumina informațiilor puse la dispoziție de fișa R. În final, cele două fișe sînt „citite" împreună. „Citirea" înseamnă interpretarea „traiectoriilor" respective (succesiunile de puncte de pe fișe), conform unor reguli sau criterii bine stabilite.

În general, cauzele care dau o anumită comportare a traiectoriei pe fișa $\overline{X}$ sînt distincte de cele ce acționează asupra fișei R.

Coroborarea informațiilor reunite de la cele două componente, face posibilă identificarea factorilor perturbatori ai procesului. Construirea și calculul limitelor de control sînt relativ cunoscute astfel că nu vom mai insista aici asupra lor (v. și [3] p. 77).

Pentru practician, unul dintre elementele esențiale în conducerea procesului tehnologic în vederea scopului propus este recunoașterea cazurilor în care o fișă de control statistic ($\overline{X}$, R) pune în evidență starea de instabilitate. Grafic, fișa se prezintă ca o „traiectorie zigzagată": în cazul prezenței unor factori de influență necontrolabili (sau încă necontrolați), traiectoria respectivă este perturbată. Apar puncte în afara limitelor de control, aglomerări de puncte într-o anumită zonă a fișei, tendințe de creștere (sau descreștere) către LCS (sau *LCI*). În aceste condiții sînt necesare reguli de detectare (recunoaștere) a traiectoriilor perturbate. Este important să subliniem însă ce se înțelege printr-o traiectorie neperturbată: în primul rînd, punctele trebuie să varieze la întîmplare și să urmeze o repartiție statistică; apoi trebuie îndeplinite următoarele trei deziderate: 1) majoritatea punctelor se află în jurul liniei centrale a fișei de control; 2) un număr mic de puncte se apropie de limitele de control; 3) nu există nici un punct în afara limitelor.

În mod logic, caracterizarea unei traiectorii perturbate se poate face prin negarea oricăreia din condițiile de mai sus. Aceasta înseamnă practic că fluctuația punctelor este sau prea largă sau dimpotrivă, foarte redusă.

Perturbația cea mai uzuală este cea dată de prezența punctelor în afara limitelor de control, element ce pune în evidență instabilitatea ac-

Scanned with OKEN Scanner

centuată a procesului. Acest tip de perturbație este evident recognoscibil „cu ochiul liber", nefiind nevoie de vreun criteriu sau de pregătire specială. Din nefericire însă, există foarte multe tipuri de perturbare care pot fi sesizate dacă nu avem la dispoziție regulile necesare detectării acestora. Utilizînd teoria probabilităților s-au putut stabili criterii de recunoaștere, considerînd probabilitatea obținerii unor serii de puncte în diferite zone ale fișei de control. În acest fel se asigură o interpretare omogenă (universală) a naturii traiectoriei unei fișe, indiferent dacă aceasta a fost obținută într-o întreprindere sau alta, pe un utilaj sau altul etc.

Întrucît fișa este calculată după principiul „celor trei sigma" fiecare jumătate a fișei ($LCS_{\bar{x}}$, $\bar{\bar{X}}$) și ($\bar{\bar{X}}$, $LCI_{\bar{x}}$) sau (LCS_R, $\bar{R}$) și ($\bar{R}$, LCI_R) este împărțită în trei zone (A, B, C respectiv C, B, A) de mărime egală respectiv $(LCS—LCI)/6$. În aplicarea regulilor de detectare a perturbației se consideră doar o jumătate de fișă. Traiectoria este perturbată, dacă în diferite zone se formează oricare din următoarele combinații:

Regula I: un singur punct cade în afara limitelor de control dincolo de zona A (regulă cunoscută, vezi și [4]).

Regula II: două din trei puncte succesive se află în zona A sau în afara ei (mai puțin cunoscută, vezi și [4]).

Regula III: patru puncte din cinci succesive cad în zona B sau dincolo de ea (punctul suplimentar poate fi oriunde, numai cele patru sînt importante: regulă foarte puțin cunoscută, vezi [4]).

Regula IV: opt puncte succesive cad în zona C sau în afara ei (regula se mai poate enunța și astfel: opt puncte succesive din șir sînt de aceeași parte a liniei centrale).

După cum se observă din aceste reguli, instabilitatea procesului tehnologic nu este pusă în evidență numai de puncte în afara limitelor de control: întrucît majoritatea lucrărilor de control statistic — și din nefericire și unele chiar foarte noi — nu subliniază decît regula I, este firesc ca practicienii să nu poată utiliza întregul potențial informațional oferit de fișa ($\bar{\bar{X}}$, R).

Menționăm faptul că în [4 p. 267] au mai fost prezentate încă patru reguli, extrase din monografia [5]. Regulile de mai sus nu fac decît să detecteze perturbarea numită generic „instabilitate". Omologarea unui proces tehnologic este o activitate dificilă, deoarece în afară de acest tip de perturbație există o bogată gamă de perturbații pentru care nu mai pot fi găsite reguli de detectare pe baze probabilist-statistice. Aceste perturbații au o multitudine de cauze generatoare care depind în mod specific de procesul tehnologic, de mașinile-unelte folosite, de materiile prime, de operatorii ce manevrează mijloacele de muncă, de regimurile de lucru (îndeosebi în procesele de așchiere), de schimburile (turele) de lucru etc.

Identificarea cauzelor și adoptarea acțiunilor corective sînt operații care țin de competența domeniului de inginerie tehnologică în care se desfășoară procesul respectiv, utilizînd tehnicile specifice ingineriei calității. Diagnosticarea acestor perturbații presupune examinarea întregii fișe de control. Documentele de bază în acest domeniu împart aceste perturbații în două categorii importante:

A. Perturbații de tip simplu: modificarea instantanee (rapidă) de nivel; modificarea progresivă (lentă) de nivel; tendința (către una din limite); ciclul; variația sistematică.

Scanned with OKEN Scanner

B. Perturbații de tip complex: amestecul stabil; amestecul instabil; anomalia; gruparea; stratificarea; copierea traiectoriei fișei R de către fișa X; interacțiunea.

Aceste perturbații necesită o experiență tehnică și practică îndelungată de lucru cu fișele $(\overline{X}, R)$.

Posibilitățile actuale de calcul, combinate cu mijloacele de diseminare puse la dispoziție de așa-numita „informatică distribuită", au permis elaborarea de arhetipuri simulate ale acestor categorii de perturbații care permit recunoașterea tipologiei respective. În același timp se încearcă punerea în corespondență — tot pe calculator — a posibilelor cauze care generează perturbațiile în speță, fapt care simplifică în mod considerabil luarea deciziei privind acțiunile corective.

În cele ce urmează vom prezenta un studiu de caz care ilustrează etapele și modul de lucru cu fișele de control în ideea demonstrării capapabilității și omologării statistice a proceselor tehnologice.

4. Studiu de caz

Produsul studiat este o lamelă de contact (fig. 17.1, *a*) montată în centralele telefonice (fig. 17.1, *b*) de a cărei caracteristici de calitate depinde în bună măsură buna funcționare a centralelor telefonice. Una dintre caratceristicile de calitate importante ale reperului în cauză este înălțimea nitului de contact (X), pentru care s-au prevăzut specificațiile T_s=0,6 mm și T_i=0,5 mm (deci $0{,}6^{-0{,}1}$ mm). O înălțime mai mare a nitului de contact decît T_s conduce la defecțiuni provocate de contact permanent (fig. 17.1, *c*), în vreme ce înălțimi mai mici decît T_i produc defecțiuni provocate de imposibilitatea producerii contactului. (fig. 17.1, *d*). Caracteristica „înălțime a nitului" (X) este generată în cadrul operației de executat contacte pe o mașină automată. Această caracteristică a ridicat probleme deosebite, o mare parte din defecțiunile centralelor datorîndu-se procentului mare (aprox. 25%) de lamele ale căror înălțimi ale contactelor nu se încadrau în specificațiile $[T_i, T_s]$. Pentru analiza, stabilizarea și optimizarea procesului de realizare a contactelor, s-a procedat la:

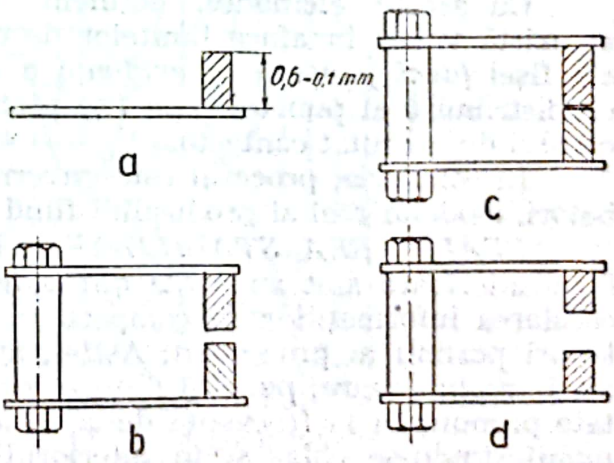


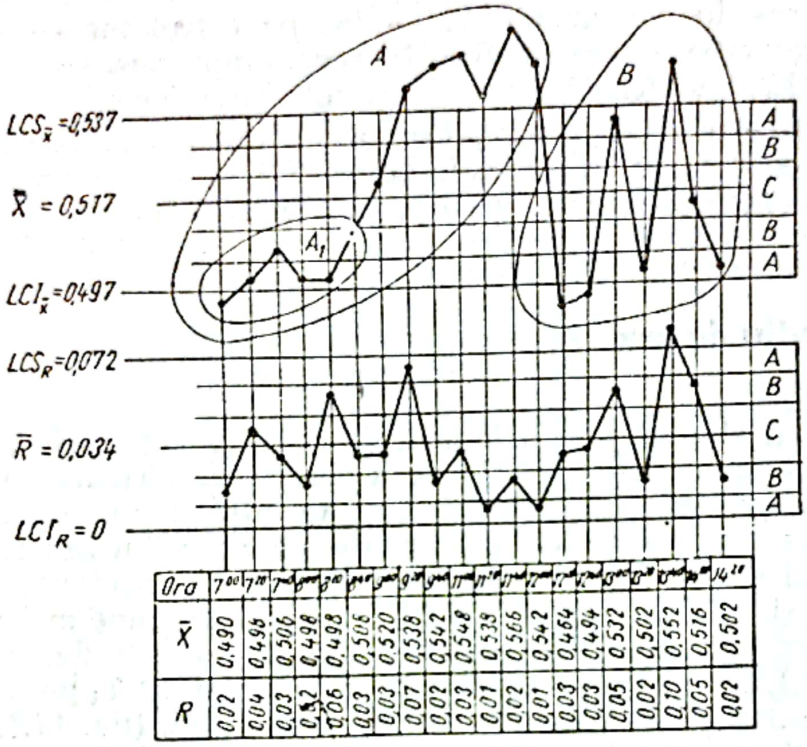
Fig. 17.1. Reperul „lamelă"; caracteristica X; înălțimea de contact a nitului.

A. *ANALIZA PRELIMINARĂ.* Această analiză a fost desfășurată cu ajutorul fișelor de control de tip $(\overline{X}, R)$, în care scop: avînd în vedere cadența ridicată de lucru a mașinii automate de executat contacte, s-a ales ca perioadă analizată intervalul de timp al unui schimb de lucru, extrăgîndu-se m=20 eșantioane, la fiecare 20 min, începînd cu orele 07.00 (efectivul unui eșantion n=5 unități de produs).

— au fost măsurate înălțimile contactelor lamelelor și au fost calculate mediile $\overline{X}_i$ și amplitudinile R_i pentru fiecare din cele m eșantioane (rezultatele se găsesc înscrise în tabelul de la baza fig. 17.2).

— cu mediile $\overline{X}_i$ și $\overline{R}_i$ s-au calculat respectiv $\overline{X}=0{,}517$ și $\overline{R}=0{,}034$; apoi s-au evaluat limitele de control *LCS* și *LCI* cu formulele cunoscute [3] și anume $LCS_{\overline{X}}=0{,}5366$, $LCI_{\overline{X}}=0{,}4974$, $LCS_R=0{,}072$ și $LCI_R=0$.

— cu valorile obținute s-au reprezentat cele două fișe de control $(\overline{X}, R)$ — fig. 17.2.



Ora	7⁰⁰	7³⁰	8⁰⁰	8³⁰	9⁰⁰	9³⁰	10⁰⁰	10³⁰	11⁰⁰	11³⁰	12⁰⁰	12³⁰	13⁰⁰	13³⁰	14⁰⁰	14³⁰
$\overline{X}$	0,490	0,498	0,506	0,498	0,498	0,506	0,520	0,538	0,542	0,548	0,538	0,566	0,542	0,464	0,494	0,532	0,502	0,552	0,516	0,502
R	0,02	0,04	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,07	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,10	0,05	0,02

Fig. 17.2. Fișa de control $(\overline{X}, R)$ în perioada de analiză a procesului.

Cu aceste elemente, obținem următoarele *informații statistice:* a) există valori în afara limitelor de control pentru ambele componente ale fișei *(deci punerea în evidență a instabilității procesului)*; b) modul de distribuire al punctelor pe fișe probează o evoluție nealeatoare a procesului de executat contacte.

În concluzie, procesul este guvernat de un sistem de factori perturbatori, modelul real al produsului fiind de tip „distorsionat".

REALIZAREA STABILIZĂRII. Informațiile statistice obținute în faza anterioară sînt analizate din punct de vedere tehnic, încercîndu-se corelarea informațiilor de comportare locală specifică, cu factori perturbatori posibili ai procesului. Astfel, au fost obținute următoarele informații suplimentare: punctul din exteriorul limitei LCS_R arată o instabilitate pronunțată în frecvența de acționare a factorilor perturbatori aceștia manifestîndu-se chiar și în interiorul „subgrupelor raționale", unde în mod normal, acest lucru ar trebui să se producă cu o probabilitate extrem de mică; pe componenta $\overline{X}$ a fișei se pot pune în evidență două zone de comportare distinctă a procesului (fig. 17.2): 1) zona *A* (între orele 07,00—11,00) în care se observă o tendință de creștere progresivă a înălțimii medii a contactelor; 2) zona *B* (între orele 11,00—14,30) caracterizată de schimbări rapide în nivelul înălțimii medii a contactelor.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza celor două componente ale fișei a condus la formularea ipotezei că factorul perturbator ar fi variația presiunii de acționare a elementului de lovire a nitului, mașina fiind racordată de sistemul central de distribuire a presiunii în întreprindere.

La baza acestei ipoteze a stat următorul raționament ingineresc, fundamentat pe informațiile date în fișa ($\bar{X}$, R): între orele 07,00—11,00, intrînd progresiv în funcțiune consumatorii din întreprindere racordați la rețeaua de distribuție a presiunii, presiunea din conducta de alimentare a mașinii respective scade treptat: forța de lovire a nitului este în consecință din ce în ce mai mică, înălțimea rezultantă fiind în mod corespunzător din ce în ce mai mare (zona A — fig. 17.2); între orele 11,00—14,30, consumatorii conectați la rețeaua de presiune intrînd sau ieșind din funcțiune fără un program bine stabilit, produc variații bruște ale nivelului presiunii, reflectate în creșterile și scăderile la fel de bruște ale înălțimii contactelor (zona B, fișa $\bar{X}$, fig. 17.2).

Montarea unui manometru pe conducta de racordare a mașinii a confirmat justețea ipotezei formulate.

Decizie tehnică: pentru eliminarea influenței variațiilor de presiune din sistemul de distribuție al acesteia asupra funcționării mașinii, s-a decis montarea pe conductă a unui regulator de presiune.

Informații statistice: după realizarea acestei intervenții tehnice, s-a construit o nouă fișă ($\bar{X}$, R) pentru a verifica dacă soluția adoptată a condus sau nu la stabilizarea procesului (fig. 17.3); fișa nou construită demonstrează stabilitatea procesului la nivelul ambilor parametri.

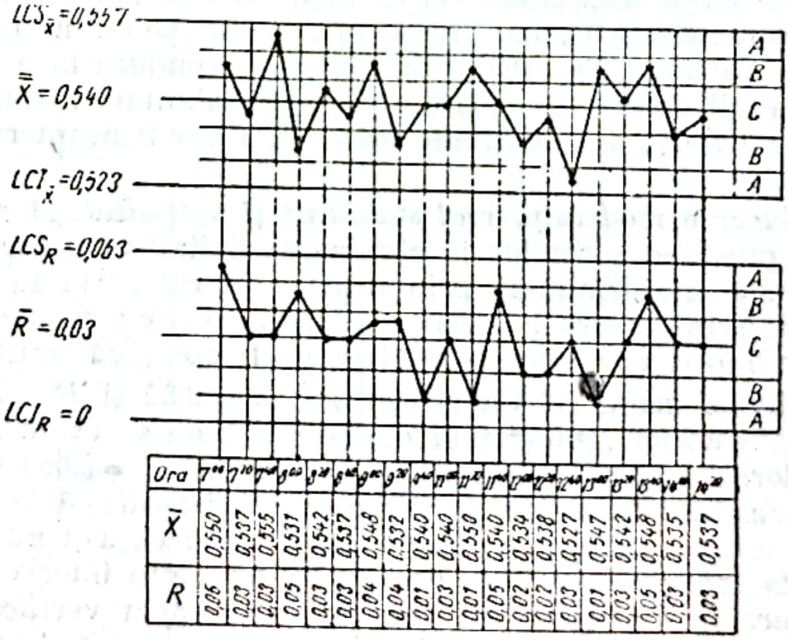


Fig. 17.3. Fișa de control (X, R) după montarea regulatorului de presiune.

Realizarea optimizării. Se remarcă faptul că pînă acum nu s-a vorbit decît de modelul real al produsului. Nu au fost luate în considerare încă specificațiile impuse caracteristicii de calitate studiată. Pentru a putea judeca posibilitățile de optimizare din punctul de vedere al fracțiunii defective rezultante, va trebui să considerăm și modelul specificat. Este

Scanned with OKEN Scanner

necesar deci să se obțină, în plus, o informație asupra posibilităților reale ale procesului, referitoare la intervalul maxim de variabilitate pe care acesta îl asigură caracteristicii X, în condiții de stabilitate statistică. Această informație este necesară pentru a se putea decide mai departe asupra poziționării optime a modelului real față de cel specificat, în virtutea dorinței de a obține o fracțiune, defectivă minimă, în condițiile date.

În acest sens: a fost verificată ipoteza normalității repartiției variabilei X cu ajutorul testului Lilliefors [4] pentru care s-a executat un program de calcul automat; ipoteza normalității fiind acceptată, s-a procedat la calculul INT al procesului; astfel, alegîndu-se metoda de calcul bazată pe R [6] s-a evaluat intervalul în care procesul este capabil să realizeze o proporție $P=0{,}999$ din contacte, cu probabilitatea $\gamma=0{,}99$:

$$L_s=\overline{\overline{X}}+k_3\overline{R}=0{,}54+1{,}741\cdot 0{,}03=0{,}59 \text{ mm};$$

$$L_i=\overline{\overline{X}}-k_3\overline{R}=0{,}54-1{,}741\cdot 0{,}03=0{,}49 \text{ mm},$$

(coeficientul k_3 este tabelat în lucrarea „Statistică și Toleranțe“ apărută în Editura Tehnică, București, 1977, anexa XVII).

De aici rezultă $INT=0{,}59-0{,}49=0{,}1$ și deci indicele de capabilitate al procesului este

$$\frac{T_s-T_i}{L_s-L_i}=\frac{0{,}6-0{,}5}{0{,}1}=1.$$

Se poate trage deci concluzia că modelul real optimizat al lamelei, referitor la caracteristica „înălțime a contactului“ se obține prin reglarea procesului la valoarea $T_M=0{,}55$ mm, fapt care conduce la o valoare minimă a fracțiunii defective, deoarece cu o probabilitate mare, practic un procent egal cu 100% din înălțimile contactelor vor fi în intervalul $INT=ITS$.

Reproducerea modelului real stabilizat și optimizat. Montarea regulatorului de presiune a condus la eliminarea definitivă a factorului perturbator, acesta încadrîndu-se prin urmare în categoria factorilor fără posibilități de reîntoarcere în proces (v. [3]). Pentru reproducerea modelului real optimizat al reperului studiat, va fi necesară construirea unei fișe $(\overline{X}, R)$ avînd acum ca valori centrale $X'=0{,}55$ și $R'=0{,}03$, acestea fiind socotite valorile „țintă“ față de care trebuie să evolueze procesul. Se obțin valorile $LCS_{\overline{X}'}=0{,}567$, $LCI_{\overline{X}'}=0{,}533$, $LCS_{R'}=0{,}063$ și $LCI_{R'}=0$. Întrucît informațiile furnizate de fișa de control realizată în faza de obținere a stabilizării, au probat capacitatea mașinii de a-și menține reglajul pe durata întregului schimb (fig. 17.3), fără alte intervenții pe parcurs ale operatorului, numărul eșantioanelor pentru verificarea menținerii stabilității poate fi apreciabil redus. S-au ales astfel, nouă eșantioane de efectiv $n=5$. Deoarece reglajul inițial al mașinii joacă aici un rol esențial, s-a decis de asemenea ca primele trei eșantioane să se preleveze la cîte 1/2 oră unul de celălalt, la începutul schimbului, urmînd ca celelalte să fie prelevate în continuare la distanță de una oră unul de celălalt. Fișa în această perioadă este reprezentată în fig. 17.4.

Concluzie. Procesul fiind în stare de stabilitate statistică, iar indicele de capabilitate fiind 1, deci asigurînd o fracțiune defectivă minimă,

Scanned with OKEN Scanner

Într. XF-25 (codificat) Comp. Ingineria Calității	STUDIUL CAPABILITĂȚII PENTRU LOTUL DE PROBĂ	Data: 26—Ian—89

Nr. reper: 001-22-003	Denumire: Furca 17NYS	Operația: 50 Verificare finală	Furnizor: 52 Execuție	Analist: Ing. Gh. Pisică (codificat)

Caracteristica: SM 6 Simetrie	Specificarea: C2 *MAX*	Limita inferioară: —	Limita superioară: 0,15300	UM: mm	Aprobat: Ing. Coșca Ion (codificat)

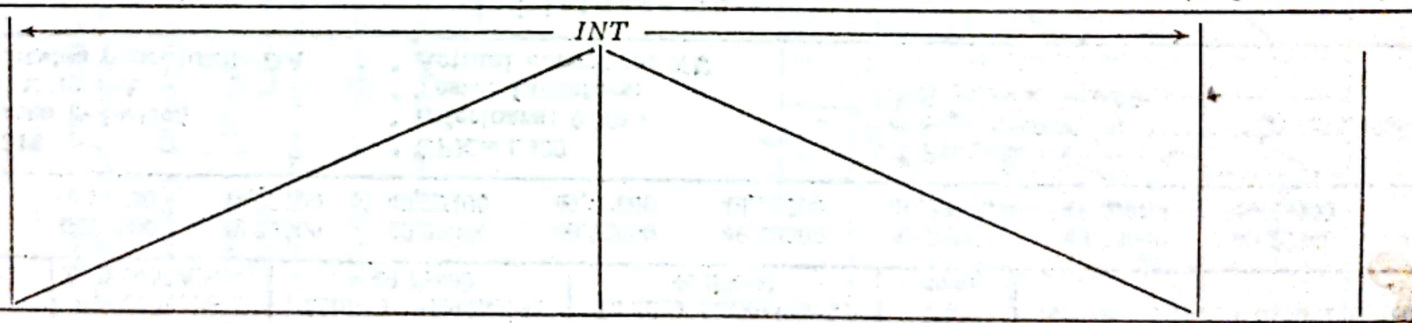
Date măsurate:	0,10000	0,06000	0.02000	0,08000	0,05000	0,03000	0,01000	0,04000	0,05000	0,03000
	0,03000	0,06000	0.02000	0,01000	0,01000		0,01000	0,01000	0,05000	0,08000
	0,06000	0,05000	0,05000	0,08000						

Concluzii:

- *
- * Fracțiunea defectivă:
- * Normalitate: DA
- * Capabilitatea procesului: DA
- * CPK =1.337
- * Testul Lilliefors:
- * Acțiuni corective: NU
- * Sigma=0,02702
- * Superioară: 0,00%
- * Probabilitatea: 0,950

Frecvența	Clase	Histograma:
7	0,01000—0,02800	H H H H H H H
4	0,02800—0,04600	H H H H
8	0,04600—0,06400	H H H H H H H H
4	0,06400—0,08200	H H H H
1	0,08200—0,10000	H

Intervalul natural de toleranță (...*INT* ...) Limita de toleranță specificată (LTS)



Cerințe pentru Analiza-Stabilizarea-Optimizarea procesului (Fișa $\overline{X}$, R . . . n=5)

- * Fișa $\overline{X}$: ** $LCIX$=0,03566 ** $\overline{\overline{X}}$=0,07193 ** $LCSX$=0,10820
- * Fișa R: ** $LCIR$=0,00000 ** $\overline{R}$=0,06286 ** $LCSR$=0,13294

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 17.2.

Într. XF-25 (codificat) Comp. Ingineria Calității	STUDIUL CAPABILITĂȚII PENTRU LOTUL DE PROBĂ	Data: 26—IAN—89

Nr. reper: 001-22-010	Denumire: Furca 17NYS	Operația: 50 Verificare finală	Furnizor: 51 Execuție	Analist: Ing. Gh. Pisică (codificat)

Caracteristica: SM 3 Diam. găuri urechi	Specificarea: A minMAX	Limita inferioară: 49.20800	Limita superioară: 49,23800	UM: mm	Aprobat: Ing. Coșca Ion (codificat)

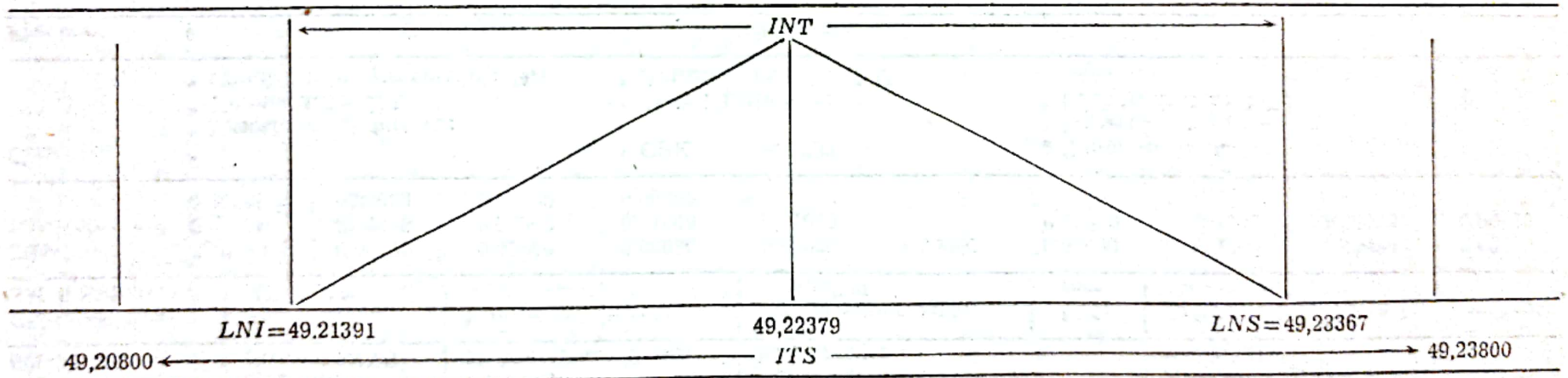
Date măsurate:										
	49,22000	49,23000	49,22500	49,22000	49,22000	49,22500	49,22600	49,23000	49,22400	49,22500
	49,22300	49,22500	49,22700	49,22400	49,22000	49,22000	49,22500	49,21900	49,22400	

Concluzii:

- * CP=1 519
- * Fracțiunea defectivă
- * Normalitate: DA
- * Capabilitatea procesului: DA
- * CPK=1.439
- * Inferioara: 0,00%
- * Testul Lilliefors:
- * Acțiuni corective: NU
- * Probabilitatea: 0,950
- * Sigma=0,00329
- * Superioara: 0,00%
- * Totala: 0,00%

Frecvența	Clase	Histograma
6	49,21900—49,22175	H H H H H H
4	49,22175—49,22450	H H H H
7	49,22450—49,22725	H H H H H H H
2	49,22725—49,23000	H H

(Intervalul de toleranța specificat (... *ITS* ...) Intervalul natural de toleranta (... *INT* ...)



Cerințe pentru Analiza—Stabilizarea—Optimizarea procesului (Fișa $\overline{X}$, R — — $n=5$)

* Fișa $\overline{X}$:	** $LCIX$=49,21858	** $\overline{\overline{X}}$=49,22300	** $LCSX$=49,22742
* Fișa R:	** $LCIR$= 0,00000	** $\overline{R}$= 0,00766	** $LCSR$= 0,01620

Scanned with OKEN Scanner

se poate considera *omologat*, urmărirea menținerii acestei situații efectuîndu-se prin noua fișă ($\bar{X}$, R) ca element de verificare de rutină.

Acest studiu de caz pune în evidență încă odată valabilitatea gîndirii shewhartiene în conducerea proceselor de fabricație.

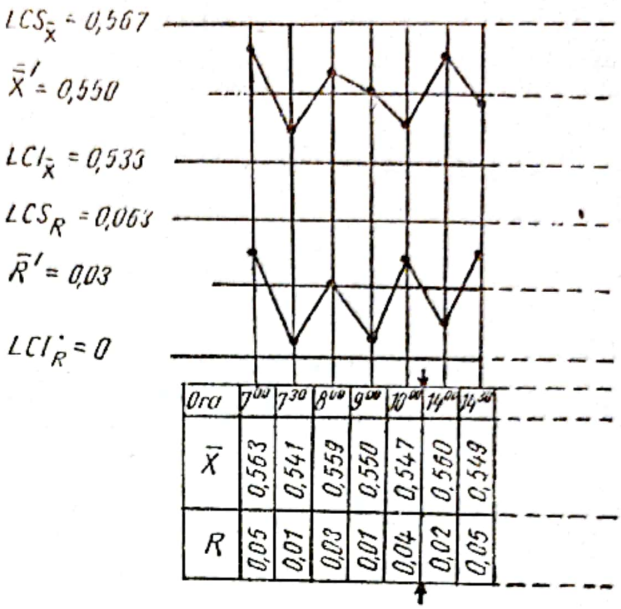


Fig. 17.4. Fișa de control ($\bar{X}$, R) în perioada verificării de rutină a procesului.

BIBLIOGRAFIE

1. Kane, V. (1986): Process capability indices. În: Journal of Quality Technology, vol. 18, nr. 1, pp. 41—52.
2. Littauer, S. B. (1974): Influence of Shewhartian concepts on Modern life. În: Quality Progress, July '74, pp. 10—11.
3. Buracu, M. și Vodă, V. Gh. (1989): Tehnici moderne în controlul statistic al calității. Editura Tehnică, București, (Seria „Tehnica la zi").
4. Tövissi, L. și Vodă, V. Gh. (1982): Metode statistice. Aplicații în producție. Editura Științifică și Enciclopedică, București.
5. Grant, E. L. and Leavenworth, R. E. (1972): Statistical Quality Control, 4-th Edition, New York, Mc. Graw-Hill Book, Co.
6. Mitra, S. K. (1957): Tables for tolerance limits for a normal population based on sample mean and range and mean range, În: J. Amer. Statist. Assoc. vol. 52, pp. 88—94.

Scanned with OKEN Scanner

VII

ACTUALITĂȚI ȘI INFORMAȚII TEHNICO-ȘTIINȚIFICE

Scanned with OKEN Scanner

18

Contribuţia tensometriei la optimizarea proiectării construcţiilor inginereşti din transporturi

Prof. dr. doc. ing. *Dumitru R. MOCANU*
Ing. *EMIL SPIREA*
INCERTRANS

În primele pagini ale valorosului curs de Rezistenţa materialelor, publicat de eminentul dascăl şi om de ştiinţă Gh. Filipescu [4], se afirmă că *„Prin construcţii inginereşti se înţeleg acele construcţii ale căror dimensiuni se stabilesc pe bază de calcul"*. Sigur, autorul s-a referit, în primul rînd, la calculele legate de stabilirea dimensiunilor astfel încît rezistenţa mecanică a construcţiei în cauză, ţinînd seama de forţele care acţionează asupra acesteia, să fie asigurată.

Este cunoscut că o judicioasă dimensionare a elementelor ce intră în alcătuirea diferitelor categorii de construcţii inginereşti (maşini, agregate, material rulant, nave, poduri etc.) este posibilă numai dacă se cunoaşte, cu suficientă precizie, starea de tensiuni în diferitele secţiuni ale elementelor respective, produsă de sarcinile ce lucrează asupra acestora în timpul exploatării.

Se ştie că determinarea cu precizie a stării de tensiune pe cale analitică se poate face doar în cîteva cazuri simple. În majoritatea cazurilor trebuie introduse o serie de ipoteze simplificatoare care îndepărtează soluţia analitică de realitate. În aceste cazuri trebuie făcut apel la metodele experimentale de analiză a tensiunilor, exceptînd cazurile în care poate fi aplicată metoda elementelor finite sau metoda elementelor de frontieră, metode care au cunoscut o dezvoltare considerabilă în ultimele decenii. Ele necesită însă calculatoare cu performanţe ridicate, cu memorie operativă mare, care uneori fac ca acestea să devină costisitoare.

Cu prilejul *JUBILEULUI a 175 de ani de învăţămînt tehnic superior* în limba română, organizat la Iaşi, în luna noiembrie 1988 [14], a avut loc o MASĂ ROTUNDĂ cu tema: *„Contribuţii privind utilizarea metodelor moderne, teoretice şi experimentale, în calculele de rezistenţă"*. Discuţiile pe marginea celor 19 referate au contribuit la elucidarea unor aspecte privind situaţiile în care este indicată utilizarea celor două metode numerice de calcul, precum şi necesitatea ca acestea, în frecvente cazuri, să fie completate prin metode experimentale.

Desigur, determinarea tensiunilor pe cale experimentală nu este o problemă legată de ultimii ani sau de ultimele decenii. Primele preocupări în această direcţie au avut loc cu mult timp în urmă.

Se ştie că tensiunea, care exprimă gradul de solicitare a materialului într-un anumit punct, este o mărime derivată. Ea nu poate fi măsurată, ceea ce se măsoară este deformaţia specifică, care în domeniul elastic este proporţională cu tensiunea din punctul respectiv.

Scanned with OKEN Scanner

Dezvoltarea metodelor de măsurare a deformațiilor și deci a tensiunilor este legată de apariția *tensometrelor*. Primele tensometre măsurau deformațiile cu ajutorul unor sisteme mecanice cu pîrghii. Cel mai utilizat tensometru mecanic este tensometrul Huggenberger, la care raportul de multiplicare este cuprins între 500 și 3 700 în funcție de numărul de pîrghii. Alte tipuri de tensometre sînt prezentate în [7 și 9].

O metodă cunoscută din primii ani ai secolului nostru, utilizată la determinarea stării de tensiune este *fotoelasticitatea,* care se bazează pe interpretarea datelor din măsurarea birefringenței accidentale. Prin această metodă se permite, la ora actuală, obținerea unui tablou complet al cîmpului de tensiuni, dînd astfel posibilitatea determinării mărimii și direcției în orice punct al tensiunilor și direcțiilor principale. Metoda are și astăzi o mare utilitate practică la studiul pe modele al concentratorilor de tensiune ce apar în cazul pieselor cu forme complicate sau cu variații bruște de secțiune.

În anul 1938, profesorul Arthur Ruge din S.U.A. obține brevetul de invenție de la Comitetul de Patente din S.U.A. pentru propunerea sa privind utilizarea *mărcilor rezistive* în tensometrie.

Tensometria electrică care utilizează drept traductoare *mărci rezistive*, în ultimele decenii a căpătat o largă utilizare datorită avantajelor ce le prezintă. Prin utilizarea *lacurilor casante* se pot determina, în prealabil, direcțiile tensiunilor principale și regiunile cele mai solicitate ale construcțiilor ce fac obiectul cercetării, reducîndu-se astfel numărul mărcilor ce urmează a fi utilizate [v. 7 și 9].

Problema stabilirii unor dimensiuni raționale pentru elementele ce intră în componența mijloacelor de transport (vehicule de cale ferată, autovehicule, avioane etc.) are o importanță deosebită, deoarece cazurile de subdimensionare conduc la catastrofe, de multe ori cu victime omenești și considerabile pagube materiale, iar cazurile de supradimensionare, în afară de consumuri suplimentare de metal în cazul mijloacelor de transport, conduc la sporirea cheltuielilor de exploatare, în principal a consumului de combustibil. Astfel, de exemplu, un plus de 1% a greutății materialului rulant din parcul C.F.R., în afară de creșterea volumului de metal cu aproximativ 200 t, calculat la nivelul volumului de transport realizat în anul 1987, ar fi condus la o creștere cu cca 90 milioane lei a cheltuielilor de exploatare. Sigur că în cazul construcțiilor de aeronave, efectele sînt mult sporite.

Se poate afirma că, în stadiul actual al tehnicii măsurării deformațiilor, stabilirea pe cale experimentală a valorilor și repartiției tensiunilor produse în elementele de construcții de sarcinile ce lucrează asupra acestora în domeniul elastic se poate face cu suficientă precizie, pentru toate stările de tensiuni și în toate cazurile de solicitare. Tensometria constituie un valoros instrument de investigare, furnizînd date valoroase proiectanților preocupați de realizarea unor construcții economice și, în același timp, cu fiabilitate ridicată.

La ora actuală, la majoritatea construcțiilor inginerești, și în primul rînd cele din sectorul transporturilor feroviare, rutiere, navale și, mai ales, aeriene, înainte de a fi date în exploatare sau înainte de a se trece la producția de serie, structura de rezistență este verificată utilizînd cele mai adecvate tehnici de analiza experimentală a tensiunilor.

În continuare, se vor prezenta preocupările privind utilizarea tensometriei la construcțiile inginerești din cadrul unităților Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor.

Scanned with OKEN Scanner

1. În cazul materialului rulant de cale ferată

Primele măsurări tensometrice cu mărci rezistive executate la C.F.R. s-au făcut în anii 1957—1958. Rezultatele au fost publicate în Revista Căilor Ferate nr. 6 din 1960 [5]. Este primul material publicat în limba română în legătură cu utilizarea acestei metode de analiza experimentală a tensiunilor, iar în anul 1966, prin Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, se publică prima lucrare în care sînt prezentate — cu exemple de măsurări executate de autori — toate metodele tensometrice cunoscute la acea dată [7].

Cercetări tensometrice de mare anvergură asupra structurilor și elementelor de material rulant feroviar au fost făcute, începînd din anul 1958, cînd în cadrul Institutului de Cercetări al Căilor ferate (azi INCERTRANS) au fost efectuate experimentări asupra prototipului unui vagon de călători în construcție sudată, urmate în 1959 de cele asupra unor vagoane de marfă executate din OLX 52, utilizat pentru prima oară la noi în țară la fabricarea vagoanelor (fig. 18.1). La vagonul de călători, pregătirile de aplicare a celor 162 de mărci rezistive și măsurările statice au fost efectuate în secția de vagoane a I.M.M.R. Griviția-Roșie [1].

Experimentările în regim dinamic, în mers, au fost efectuate cu aparatura montată în vagonul metrologic al I.C.P.T.T., care, împreună cu vagonul prototip ce făcea obiectul cercetării, au fost atașate la un tren spe-

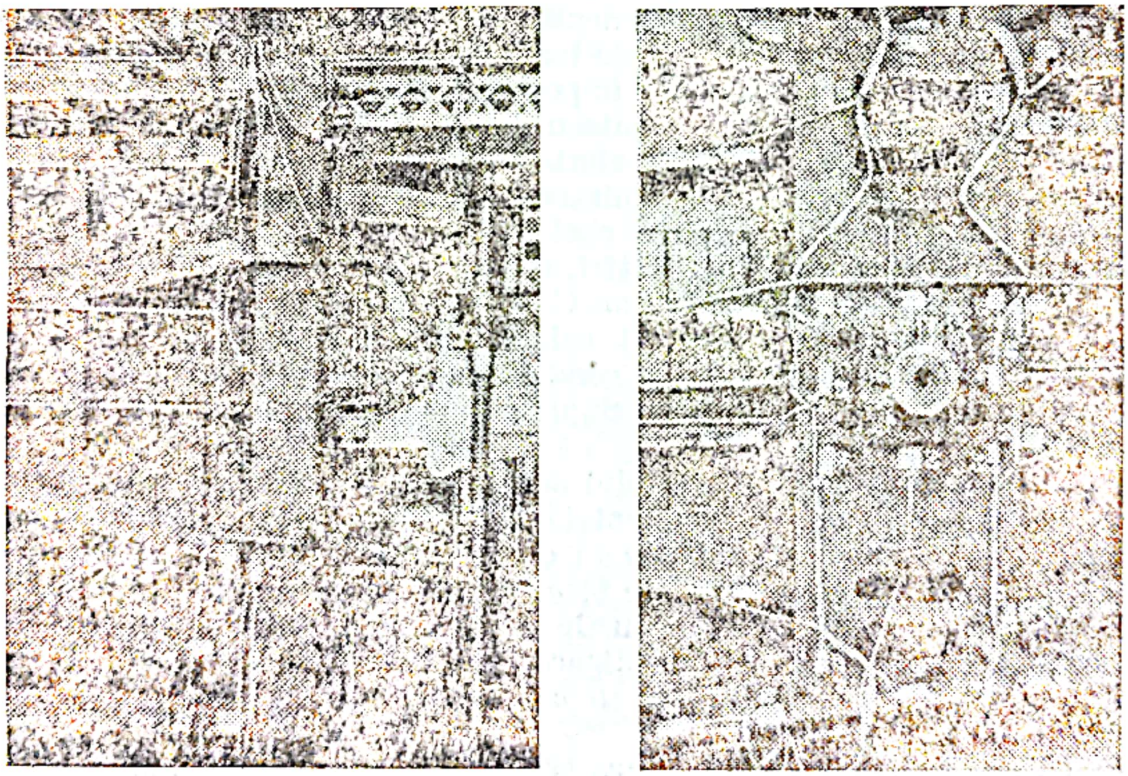


Fig. 18.1. Traductoare aplicate pe șasiul unui vagon construit din OLX 52.

cial de probe ce a parcurs de mai multe ori distanța București-Predeal. În anul 1959, un colectiv din cadrul INCERTRANS, în colaborare cu Baza Academiei Române din Timișoara, au făcut încercări cu mărci rezistive la trei vagoane-platformă construite din OLX 52 sudabil (fig. 18.2). Determinarea tensiunilor din elementele șasiului s-a făcut cu 150 mărci re-

Scanned with OKEN Scanner

zistive, în următoarele regimuri de încărcare: sub greutatea proprie și sub sarcina statică de 60 t, uniform distribuită pe întreaga lungime a vagonului; sub sarcina dinamică (în mers); la presare pe tampoane (200 t presiune axială și 420 t în diagonală); la ciocnire cu vitezele de 15 și 45 km/h.

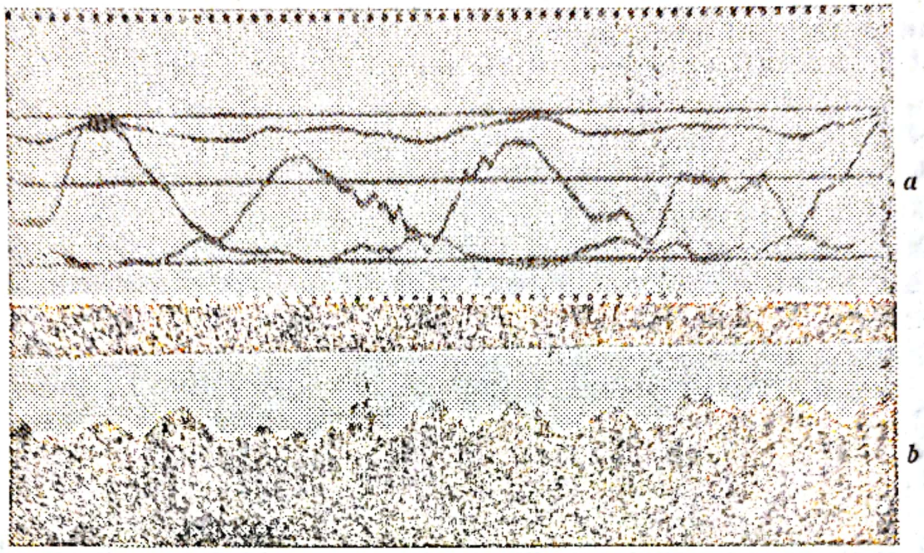


Fig. 18.2. Oscilogramă înregistrată la încercările în mers ale vagoanelor din OLX 52:
a — oscilograf catodic; *b* — oscilograf cu bucle.

Tensiunile produse de greutatea proprie au fost stabilite, considerînd semidiferența valorilor măsurate în poziția normală a platformei și în poziția după rotirea cu 180° a platformei.

Măsurările dinamice au avut loc pe ruta Cîmpina-Predeal, pe care s-au făcut peste 15 curse și s-au efectuat în total 366 oscilograme. Încer-

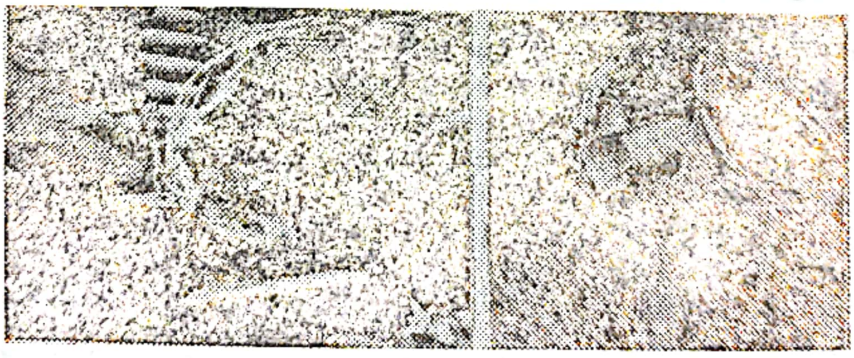


Fig. 18.3. Dispozitiv pentru conectarea mărcilor la încercările de ciocnire:
a — elementul cu cablurile de la mărcile de pe șasiu; *b* — elementul cu cablurile de legătură de la aparat.

cările la presiunea pe tampoane s-au făcut pe un stand amenajat în incinta uzinelor „23 August", iar încercările la ciocnire (fig. 18.3) au avut loc în stația Mogoșoaia.

Eficiența încercărilor tensometrice asupra optimizării proiectelor vagoanelor susmenționate a determinat completarea continuă a dotării și a

Scanned with OKEN Scanner

schemei de personal a Laboratorului de tensometrie înființat în cadrul I.C.P.T.T. (INCERTRANS).

În anul 1960 a fost amenajat cu aparatura necesară un vagon special pentru încercări tenso-electrice. Cu ajutorul acestuia au fost executate măsurări pentru determinarea tensiunilor în regim static și dinamic la: cîrligul de tracțiune, longeronul locomotivei Pacific, boghiuri de vagoane și automotoare, vagonul cisternă autoportant de 50 m^3 capacitate, boghiul pe trei osii al vagonului platformă de 80 t ș.a. [1].

În anul 1962 au fost executate primele măsurări la temperaturi ridicate folosind mărci și adezivi speciali fabricați de firma Hottinger, pentru determinarea stării de tensiune în urma aplicării la cald a bandajelor pe discul roții de vagon.

Din același an, colectivul Laboratorului de tensometrie de la INCERTRANS a fost solicitat să execute, în afară de încercările tensometrice cerute în vederea omologării noilor tipuri de locomotive, de vagoane de călători și marfă, de boghiuri atît pentru C.F.R., cît și pentru export, și cele privind stabilirea unor îmbunătățiri constructive la materialul rulant aflat în exploatare ca, de exemplu, locomotivele diesel-electrice, locomotivele electrice, locomotivele diesel-hidraulice, vagoane cisternă, vagoane de transportat ciment în vrac, boghiurile locomotivelor electrice și diesel-electrice ș.a. Pentru a se putea face față solicitărilor crescînde, în anul 1966 a fost construit, în cadrul INCERTRANS, un stand special pentru încercarea materialului rulant feroviar, atît la sarcini verticale pînă la 320 t, cît și la sarcini orizontale, pînă la 250 t*, iar baza materială a laboratorului a fost completată cu o instalație tensometrică livrată de firma Hottinger cu comutare și înregistrare automată pentru 200 canale de măsură. A fost completată, de asemenea, schema de personal a laboratorului. În cadrul laboratorului de la INCERTRANS, considerat ca cea mai puternică unitate în domeniul analizei experimentale a tensiunilor, au fost elaborate scheme de amplasare a mărcilor, precum și metodologii de prelucrare și interpretare a datelor experimentale și s-au făcut o serie de studii teoretice finalizate cu soluții de îmbunătățire constructivă a structurilor de rezistență a materialului rulant. Se menționează, în acest sens, studiile teoretice și experimentale efectuate în perioada 1967—1972, asupra a peste 30 de tipuri de vagoane de marfă pentru stabilirea soluțiilor optime de adaptare a șasiului acestor vagoane în vederea dotării lor cu cuplă automată.

Aderarea C.F.R. la O.R.E. (1972) a marcat o cotitură în activitatea Laboratorului de tensometrie al INCERTRANS. Specialiștii laboratorului au contribuții valoroase în rapoartele editate periodic în cadrul O.R.E., cu privire la: condițiile de încercare a materialului rulant și a podurilor de cale ferată; valorile limitelor admisibile; valorificarea datelor experimentale în cazul încercărilor tensometrice în regim dinamic.

Pentru completarea și modernizarea în continuare a bazei materiale a laboratorului s-au achiziționat din import: compensatoare numerice de mare precizie; oscilografe cu ultraviolete, cu amplificatoare tensometrice încorporate, cu consum redus de energie; calculator Hewlett-Packard 9835-A cuplat cu un digitizor care asigură prelucrarea datelor înregistrate pe o bandă de hîrtie; sistem de culegere a datelor asistată de calculator și de prelucrare COMPULOG FOUR, într-o configurație de 200 ca-

* Ulterior, un stand similar a fost construit și la Uzinele de Vagoane Arad.

Scanned with OKEN Scanner

nale (pentru acest sistem au fost elaborate numeroase programe în limbaj FORTRAN pentru măsurare, prelucrare, precum și alte calcule inginerești); analizator portabil MTTS 460-H, cu o capacitate de memorizare uriașă, furnizînd rezultatele analizei imediat după terminarea memorizării; echipament pentru studii fotoelastice pe modele și în natură, prin reflexie și respectiv prin transmisie, automat cu prezentarea numerică a rezultatelor; truse de lacuri casante STRESCOT.

Prin introducerea tehnicii de calcul s-a înregistrat un progres considerabil în analiza experimentală a tensiunilor, mai ales în cazul construcțiilor complexe, cu număr mare de puncte de măsură. În legătură cu aceasta, în anul 1976, a fost elaborat la INCERTRANS primul program cu specific de prelucrare a datelor furnizate de măsurările tensometrice cu traductori rezistivi. Dintre programele elaborate se citează: programe pentru cazul utilizării rozetelor la încercarea statică și în mers; programe pentru calculul tensiunilor în stare uniaxială statică; programe pentru măsurări statice la sistemul COMPULOG-FOUR; program pentru calculul tensiunilor în secțiune din datele furnizate de mărcile aplicate în secțiunea respectivă.

În anul 1977 a fost întocmit un program cu elemente finite (STRUCT) pentru calculul structurilor spațiale din bare, care a fost perfecționat în 1988. Acesta poate analiza, de exemplu, structuri cu 500 de noduri și 600 de bare. A fost, de asemenea, elaborat un program cu elemente finite (SIMAX) pentru calculul corpurilor de revoluție încărcate simetric (1978) și altul (ASIMAX) pentru calculul corpurilor de revoluție solicitate simetric sau asimetric (1987). Prima aplicație a acestui program a fost la verificarea unui volan al standului pentru încercări de saboți din INCERTRANS. Verificarea s-a făcut la o viteză periferică de 200 km/h (1 000 de noduri și 900 de elemente).

Numai în perioada 1972—1987, în cadrul INCERTRANS au fost efectuate sute de lucrări în domeniul analizei experimentale a tensiunilor, dintre care se menționează:

— încercări la 107 vagoane, dintre care unele cu aport valutar, solicitate de ORE B 12;

— încercări la toate tipurile de locomotive noi din parcul C.F.R., precum și la cele destinate exportului;

— încercări la locomotivele din parc modificate pentru trecerea la cupla automată;

— încercări la rama electrică executată de INCERTRANS și apoi de Electroputere Craiova;

— încercări la alte mijloace de transport: metrou, tramvaie ș.a.;

— echiparea cu mărci rezistive și calibrarea a peste 300 cupoane de șină de c.f. destinate determinării sarcinilor pe roți la locomotive în depouri și la metro;

— instalații pentru măsurarea continuă a forțelor verticale și orizontale dintre roată și șină, cu ajutorul unor mărci rezistive special proiectate;

— instalații pentru măsurarea în mers a greutății vagoanelor cu efecte pozitive asupra vitezei comerciale a trenurilor și a rulajului vagoanelor;

— utilizarea lacurilor casante în combinație cu mărcile rezistive la analiza tensiunilor, ca de exemplu la glisierele elastice ale boghiurilor Y 25 Cs, la cadrul boghiului ramei electrice la vagonul de 300 t pentru transportat fontă lichidă ș.a.;

Scanned with OKEN Scanner

— încercarea diferitelor tipuri de transconteinere utilizate la transporturi de mărfuri pe c.f., auto, nave.

2. Incercări tensometrice la şinele de cale ferată şi la schimbătoarele de cale (macaze)

Prin trecerea de la şina cu joante la şina continuă, înlocuind eclisele prin sudură, a crescut durabilitatea şinelor, precum şi cea a materialului rulant, prin eliminarea şocurilor primite atît de şină, cît şi de roţile materialului rulant în dreptul joantelor. La trenurile de călători a sporit confortul călătorilor. În cazul şinei continue, prin eliminarea rosturilor, aceasta este supusă unor tensiuni suplimentare, datorită variaţiilor de temperatură.

Primele studii teoretice făcute în ţara noastră privind tensiunile menţionate au fost făcute de prof. emerit *C. C. Teodorescu*. Studiile menţionate au fost verificate experimental, o perioadă îndelungată mai ales în anotimpurile cu temperaturi extreme, cu concursul Laboratorului de tensometrie de la INCERTRANS în staţia Moldoveni de pe linia Bucureşti-Urziceni. Atît studiile teoretice, cît şi rezultatele cercetărilor experimentale au fost publicate în [16], unde sînt precizate cazurile în care se poate trece la şina fără joante, precum şi măsurile ce trebuie luate pentru ca valoarea tensiunilor totale din şină, în condiţiile cele mai severe de exploatare, să nu depăşească valorile admisibile.

Utilizînd tehnica fotoelasticităţii (fig. 18.4), s-au făcut cercetări la INCERTRANS, în colaborare cu catedra de Rezistenţa materialelor de la Institutul Politehnic Bucureşti, asupra stării de tensiune în jurul găurilor de eclisare de la cupoanele de şină montate pe magistralele de cale ferată. Pe baza rezultatelor înregistrate, s-a propus mărirea distanţei de la capătul cuponului la axa primei găuri [17].

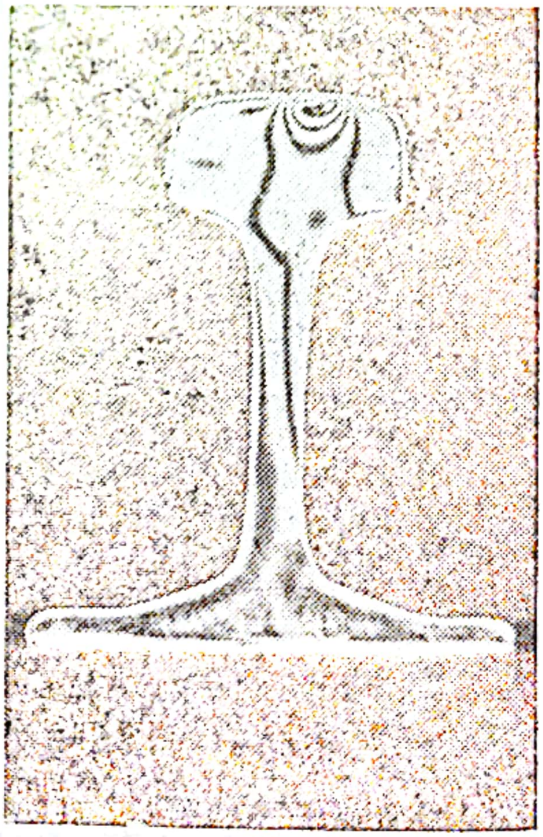


Fig. 18.4. Starea de tensiune dintr-o şină de cale ferată determinată cu ajutorul fotoelasticităţii.

Începînd cu anul 1970, s-au făcut studii experimentale utilizînd mărci rezistive asupra noilor tipuri de schimbătoare de cale, de către Întreprinderea de Aparate de Cale Buzău, în colaborare cu INCERTRANS şi catedra de Rezistenţa materialelor de la Institutul Politehnic din Iaşi. Încercările au fost făcute în staţia Buzău, atît în regim static, cît şi în regim dinamic (fig. 18.5). Ultimele încercări au fost făcute asupra unui aparat de cale cu ace flexibile montat în linie curentă la intrarea în staţia Cilibia (magistrala Buzău—Galaţi).

Scanned with OKEN Scanner

Pe baza rezultatelor măsurărilor tensometrice efectuate, s-au luat unele măsuri pentru îmbunătățirea tehnologiilor aplicate la fabricarea aparatelor de cale ce au făcut obiectul cercetărilor menționate. Întreprin-

Fig. 18.5. Încercarea dinamică a aparatului de cale cu ace flexibile.

derea de Aparate de Cale Buzău dispune în prezent de un laborator de tensometrie dotat cu aparatură modernă, iar secția pentru tehnologii de întreținere și modernizare a căilor ferate din INCERTRANS dispune de un colectiv bine închegat pentru aplicații ale tensometriei rezistive cu corzi vibrante și cu tensometre mecanice.

3. Încercări tensometrice la mijloacele de transport rutiere

În cadrul INCERTRANS au fost făcute și numeroase încercări pentru verificarea stării de tensiune în structura de rezistență a unor prototipuri de autovehicule, cum sînt: autobuzele simple, autobuzele articulate (fig. 18.6), troleibuzul articulat, microbuze, autobuze cu recipiente de gaz metan instalate pe acoperiș, autofurgon mixt pentru mărfuri și persoane, autoutilitara pentru pompieri ș.a.

În cele mai multe cazuri, pe baza datelor experimentale s-au efectuat modificări constructive la autovehiculele respective, care au condus la sporirea siguranței în exploatare a acestora și, în multe cazuri, la economii de metal.

4. Încercări tensometrice la podurile de cale ferată și de șosea

Primele încercări tensometrice în domeniul podurilor, executate de colectivul de la INCERTRANS, au fost făcute în anul 1961, și anume la podul metalic de cale ferată de la Augustin de peste Olt, la podul de

Scanned with OKEN Scanner

șosea din beton armat de la Hotarele, la podul de la Cîineni, primul în construcție sudată, la podul Vadului de peste Prahova.

Construite la sfîrșitul veacului trecut pentru a realiza legătura fe-

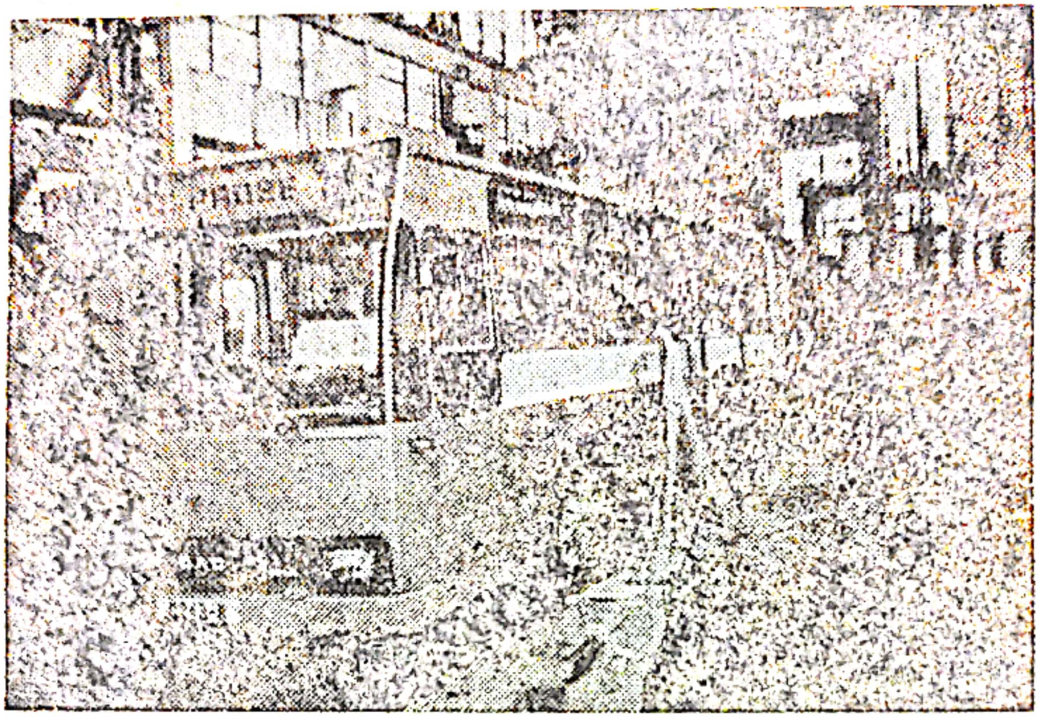


Fig. 18.6. Încercări electro-tensometrice la un autobuz cu articulație.

roviară dintre Fetești și Cernavodă, podurile dunărene „Anghel Saligny" erau considerate în acea perioadă drept lucrări remarcabile în lume.

Creșterea continuă a traficului de călători și de marfă a impus executarea unor lucrări de consolidare la podurile menționate pentru a putea face față noilor condiții de exploatare. Întrucît prin studiile teoretice făcute de I.P.C.F. nu s-a ajuns la un consens, s-a luat hotărîrea ca podul să fie supus unei testări tensometrice, pentru a se stabili eforturile reale la care sînt solicitate elementele podului în noile condiții. A fost folosită, în acest scop, tensometria electrică rezistivă. Pe elementele podului, în condiții deosebit de grele, au fost aplicate, cu conștiinciozitate riguroasă, un număr de aproape 2 000 de mărci rezistive, care au fost cablate la aparatura amplasată în vagonul tensometric garat în stația Cernavodă. Au fost efectuate, în anii 1962—1964, măsurări ale deformațiilor specifice în cele cca 2 000 puncte, cu podul încărcat, static și dinamic, cu cele mai grele garnituri de trenuri de marfă.

În urma prelucrării datelor experimentale, s-au stabilit elementele ce urmează a fi consolidate, precum și soluțiile constructive, astfel încît podul să reziste la noile condiții de exploatare impuse de traficul și vitezele de circulație în continuă creștere. După efectuarea consolidării au fost efectuate noi măsurări tensometrice. Rezultatele acestora au confirmat justețea soluțiilor de consolidare aplicate.

Creșterea în continuare a traficului de călători și de marfă, mai ales în ultimele două decenii, pe magistrala București-Constanța, a necesitat dublarea liniei de cale ferată în 1968—1970, fapt care a impus executarea noului complex de poduri Fetești-Cernavodă, și anume podul peste brațul Borcea de cca 970 m lungime și podul de peste Dunăre, la Cernavodă,

Scanned with OKEN Scanner

cu o lungime totală de 1 590 m. În ambele cazuri, podurile sînt construite pentru cale ferată dublă și pentru șosea cu patru benzi de circulație, traversarea fluviului făcîndu-se pe un tablier comun avînd calea ferată dublă între grinzile principale, iar șoseaua, la același nivel, pe consolele laterale de o parte și de alta a tablierului propriu-zis.

Fig. 18.7. Încercări electro-tensometrice la macheta noului pod de la Cernavodă.

Atît în perioada de execuție, cît și în cursul recepției s-au executat măsurări tensometrice (fig. 18.7) asupra structurii de rezistență a celor două poduri. Rezultatele, în majoritatea cazurilor, au confirmat comportarea corespunzătoare a structurilor în ipotezele de calcul luate în considerare la proiectare.

Programul de încercări stabilit pe baza proiectelor elaborate de INCERTRANS și IPCF a avut în vedere efectuarea de încercări statice și dinamice pentru ipotezele de încărcare cele mai defavorabile. Alegerea secțiunilor de măsurare și a punctelor de măsură s-a făcut pe baza proiectelor de încercări menționate mai înainte, luîndu-se în considerare regiunile cele mai solicitate. Deformațiile specifice s-au măsurat de specialiști de la INCERTRANS, utilizînd în paralel tehnici diferite în aceeași secțiune a structurii, și anume: tensometre mecanice, de tip Huggenberger și Pfender și mărci tensometrice rezistive.

Pentru podul Borcea, de exemplu, au fost utilizate, în total 332 mărci rezistive, iar pentru tensometrele mecanice au fost utilizate un număr de 207 baze de măsură. S-a realizat un volum foarte mare de citiri, cca 35 000. Prelucrarea datelor cu ajutorul calculatorului a permis obținerea rezultatelor într-un timp redus, avînd în vedere numărul mare de date de care se dispune. Rezultatele măsurărilor, precum și compararea lor cu valorile de calcul sînt prezentate în [15], în care se dau și alte informații în legătură cu încercările făcute la acest pod. În general, valorile tensiunilor măsurate au rezultat mai mici decît valorile admisibile considerate la proiectare. Tensiuni care au depășit pe cele admisibile au reprezentat cca 3% din totalul punctelor de măsură, depășirea fiind sub 8%.

Scanned with OKEN Scanner

De menționat că, în cazul podului de peste canalul Borcea, s-a desfășurat cea mai amplă încercare a unui pod de la noi din țară, ținînd seama că se încărcau simultan două fire de cale ferată și de două ori două benzi de circulație rutieră. Au fost utilizate, în acest scop, două convoaie totalizînd 34 locomotive LDE de 120 t și patru convoaie rutiere totalizînd 64 autocamioane de 27 t (încărcate la capacitate). Amploarea încercării podului peste brațul Borcea a fost întrecută numai de cea care s-a făcut la podul peste Dunăre, unde grinda principală a podului avea deschiderea de 470 m (140×190×140) față de 420 m (3×140) la podul peste Borcea.

5. Încercări tensometrice la construcții navale

Un rol important în dezvoltarea spectaculoasă a industriei constructoare de vase fluviale și maritime din țara noastră l-au avut cercetările, în acest domeniu, efectuate în cadrul Catedrei de rezistența materialelor și construcții navale de la Universitatea din Galați și la Institutul de Cercetări și Proiectări Navale ICEPRONAV, unele în colaborare cu INCERTRANS, unde au fost înființate laboratoare ce oferă posibilități largi pentru efectuarea de cercetări tensometrice pe modele de nave (fig. 18.8), simulîndu-se condițiile de solicitare la care acestea sînt supuse în exploatare, cu ajutorul unor bazine de dimensiuni corespunzătoare.

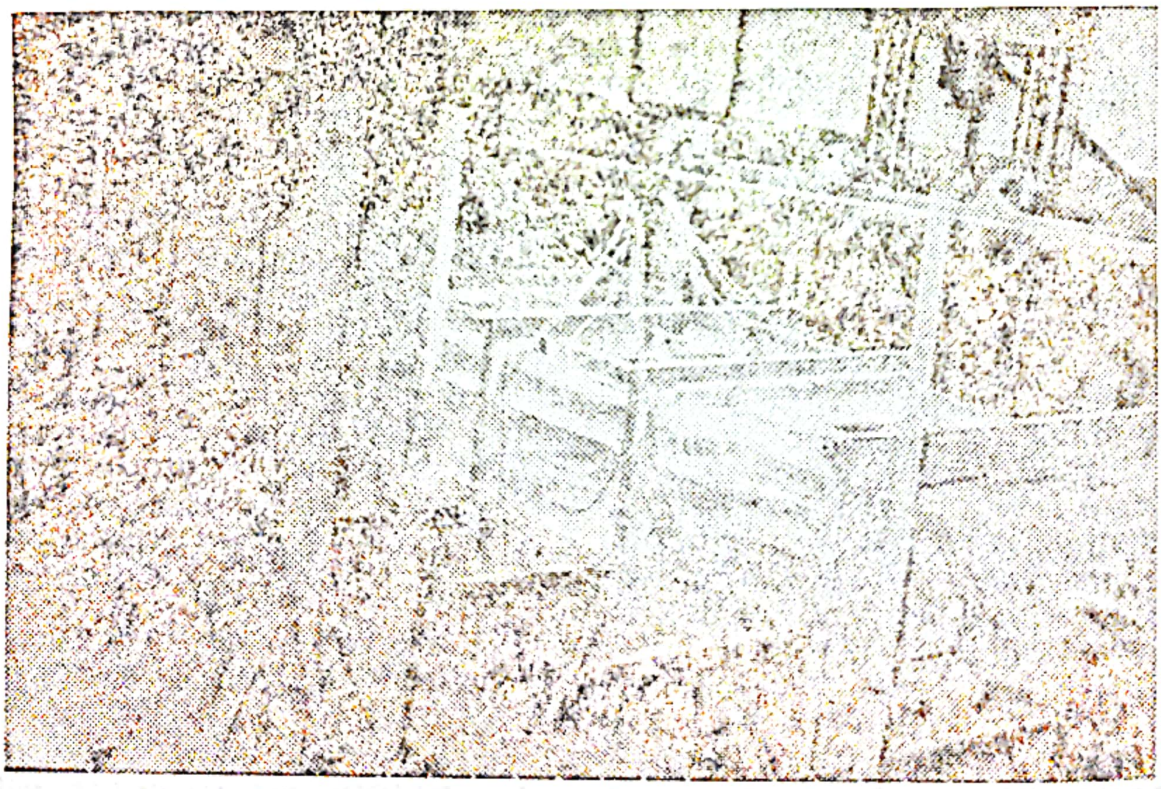


Fig. 18.8. Model de navă portconteiner (8 500 tdW) confecționat din stiplex și încercat la torsiune cu mărci rezistive, la Universitatea din Galați.

La unele prototipuri de nave de mare capacitate ICEPRONAV a efectuat măsurări tensometrice cu mărci rezistive direct pe nava încărcată la capacitate, în condiții reale de exploatare.

Scanned with OKEN Scanner

În laboratorul de la Universitatea din Galaţi s-au făcut numeroase încercări tenso-electrice, care au furnizat date utile pentru fabricarea elicelor de nave. La centrul de Cercetare Ştiinţifică pentru Echipamente Hidroenergetice din Reşiţa se aplică tensometria electrică rezistivă în scopul optimizării dimensiunilor elementelor componente ale motoarelor diesel utilizate la navele construite în ţară, inclusiv pentru petroliere de 150 000 tdw (fig. 18.9) capacitate, construite la şantierele navale din Constanţa.

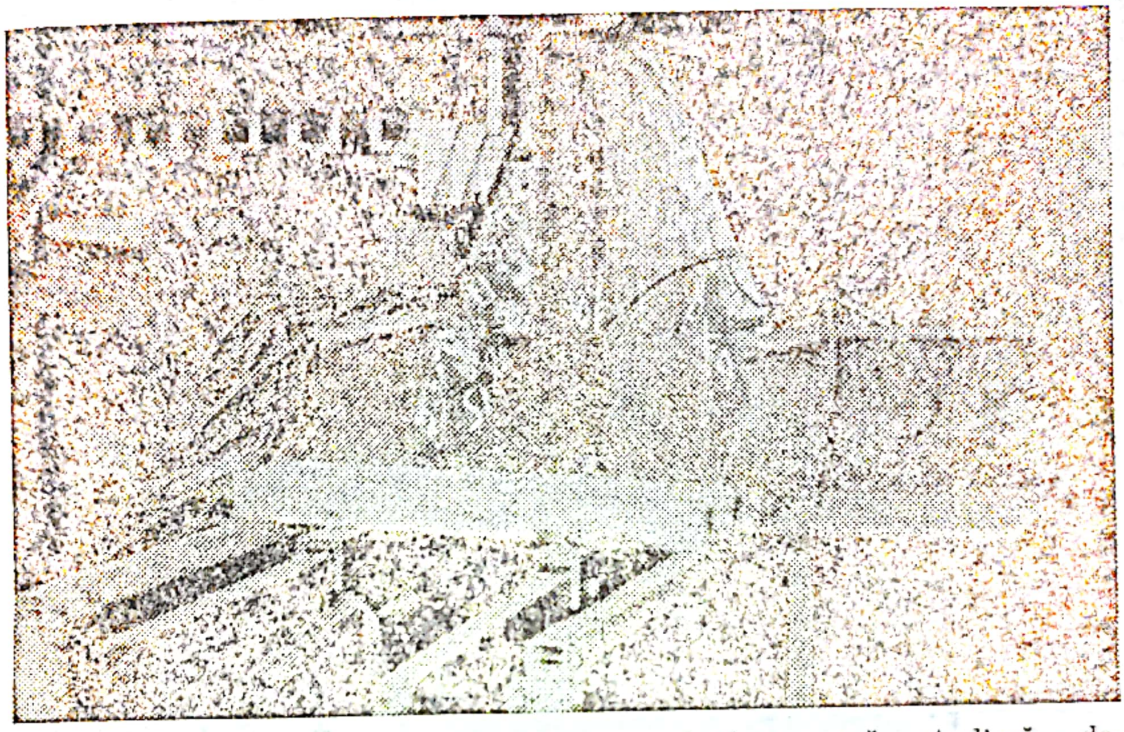


Fig. 18.9. Studiul tensiunilor într-un guseu de la o navă petrolieră de 150 000 tdW, cu ajutorul mărcilor rezistive.

Se menţionează, de asemenea, încercările tensometrice ale platformelor petroliere maritime făcute de ICEPRONAV şi INCERTRANS, care au contribuit la optimizarea dimensională a structurilor de rezistenţă ale acestor complexe construcţii (fig. 18.10).

Prin cîteva exemple, s-a urmărit a se arăta care este stadiul aplicării metodelor de analiză experimentală a tensiunilor în domeniul transporturilor feroviare, auto şi navale.

Atît în transporturi, cît şi în alte sectoare ale economiei naţionale, Comisia Centrală de Tensometrie (CCT), înfiinţată cu prilejul primului Simpozion Naţional de Tensometrie de la Iaşi din anul 1977, a contribuit la extinderea pe scară largă a tensometriei, printr-o serie de măsuri, cum sînt:

1. Organizarea, la intervale de 3 ani, a unor simpozioane naţionale de tensometrie cu participare internaţională. Al 5-lea Simpozion a avut loc în luna septembrie 1989, la Galaţi.

2. Organizarea — între simpozioanele naţionale — a unor seminarii ştiinţifice, mese rotunde, schimburi de experienţă, simpozioane pe ramură ş.a.

3. Organizarea cursurilor postuniversitare în domeniul tensometriei — înfiinţate la intervenţia CCT — şi a unor seminarii de instruire prac-

Scanned with OKEN Scanner

tică a personalului care lucrează la pregătirea lucrărilor privind analiza experimentală a tensiunilor.

4. Demersurile insistente pe lîngă unităţile de profil în legătură cu fabricarea în ţară a aparaturii şi materialelor utilizate în analiza experimentală a tensiunilor. De remarcat că în acest sens s-au făcut progrese remarcabile. În ceea ce priveşte aparatura utilizată în tensometria elec-

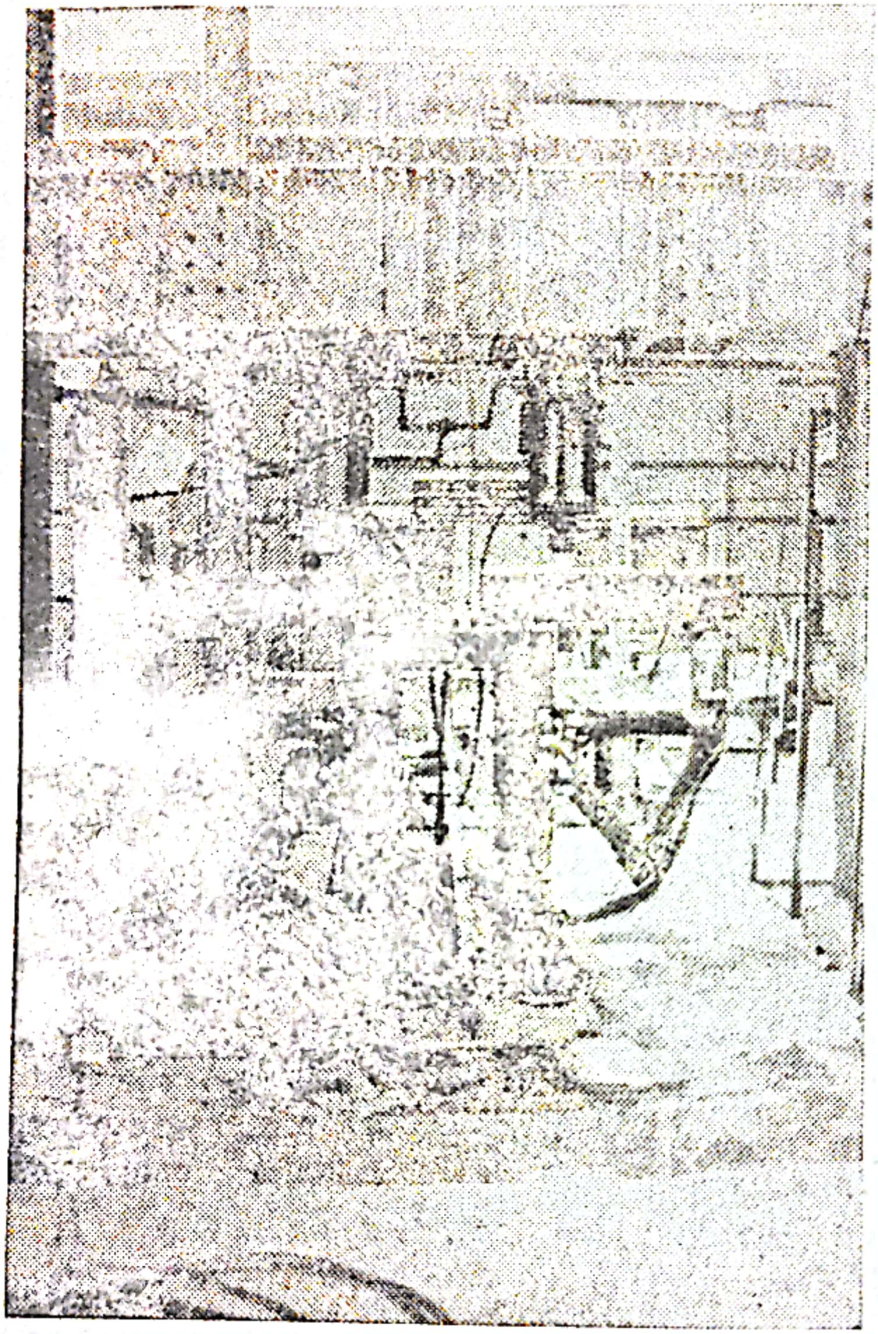


Fig. 18.10. Încercări statice şi dinamice, cu mărci tensometrice, făcute de INCERTRANS, la podurile structurii de rezistenţă a platformelor maritime.

trică, aceasta se fabrică în ţară la un înalt nivel tehnic şi este mult solicitată la export. În prezent, se fabrică instalaţii tensometrice cu 6, 12, 24...100 şi chiar 1 000 de canale. Ultimele generaţii execută măsurări cu viteza de 100 p/s şi cu prelucrarea automată a datelor experimentale.

Scanned with OKEN Scanner

5. O contribuție de seamă la extinderea metodelor și tehnicilor tensometrice și de control al calității nu numai în transporturi a avut-o publicarea prin Editura Tehnică a tratatului de „ANALIZA EXPERIMENTALA A TENSIUNILOR" în 2 volume [9] și „ÎNCERCAREA MATERIALELOR" în trei volume [11].

Ca urmare a acțiunilor menționate, la realizarea cărora a avut o contribuție de seamă Comisia Centrală de Tensometrie, comisiile teritoriale de tensometrie și INCERTRANS, astăzi țara noastră, pe linia utilizării tensometriei, se situează în rîndul țărilor dezvoltate, fapt care explică de ce România se numără printre cele 19 țări care au fost invitate să participe la Jubileul (1938—1988) mărcii tensometrice, care a avut loc în orașul Houdson, S.U.A., în noiembrie 1988. *Cartea de aur a tensometriei electrice*, redactată de organizatorii Jubileului, cuprinde trei comunicări prezentate de CCT, cu exemple de utilizări ale tensometriei electrice în România, majoritatea fiind luate din domeniul transporturilor, unde, așa cum s-a subliniat, dimensionarea judicioasă a elementelor ce intră în alcătuirea diferitelor categorii de construcții are o importanță deosebită, în primul rînd la creșterea siguranței în exploatare.

BIBLIOGRAFIE

1. Buga, M. ș.a. Evoluția utilizării tensometriei electrice în domeniul materialului rulant. În: Revista MTTc, nr. 1, 1989.
2. Constantinescu, N. și Teodorescu, D. Complexul feroviar și rutier de traversare a Dunării în zona Feteşti—Cernavodă. În: Revista MTTc, nr. 7, 1988.
3. Hoffmann, K. Eine Einfuhning in die Technik des Messens mit Dehnunsmesstreifen. Hottinger Baldering Messtechnik GMBH, Darmstadt, 1987.
4. Iosipescu, N. Introducere în fotoelasticitate, București, Editura Tehnică, 1958.
5. Mocanu, D. R. și Buzdugan, Gh. Tensometria electrică și aplicațiile ei în R.P.R. In: Revista Căilor Ferate, nr. 6, 1960.
6. Filipescu, Gh. Statica construcțiilor și rezistența materialelor. Ediția a II-a, 1940, Imprimeria Monitorul Oficial.
7. Mocanu, D. R. ș.a. Determinarea experimentală a eforturilor unitare. București, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor.
8. Mocanu, D. R., Buga, M. ș.a. Utilizarea tensometriei electrice la determinarea eforturilor unitare. București, Institutul de Documentare Tehnică, 1969.
9. Mocanu, D. R. ș.a. Analiza experimentală a tensiunilor. București, Editura Tehnică, Vol. I. 1986, vol. II. 1987.
10. Mocanu, D. R. și Năilescu, L. Utilizarea lacurilor casante în tensometrie. INCERTRANS — București, 1977.
11. Mocanu, D. R. ș.a. Încercarea materialelor. București, Editura Tehnică, Vol. 1 și 2, 1982, vol. 3, 1985.
12. Mocanu, D. R. și Spirea, E. Cu privire la activitatea Comisiei centrale de tensometrie între al IV-lea (Brașov, 1986) și cel de-al V-lea (Galați, 1989) simpozioane naționale de tensometrie. În: Revista MTTc, nr. 7—8, 1989.
13. Mocanu, D. R. și Spirea, E. Activitatea Comisiei centrale de tensometrie în perioada 1977—1988. INCERTRANS — București, 1987.
14. Mocanu, D. R. ș.a. Contribuții ale cadrelor didactice de la Institutul politehnic „Gh. Asachi" din Iași, la extinderea în România a utilizării tensometriei și cola-

Scanned with OKEN Scanner

borarea I. P. Iași cu INCERTRANS. Lucrare publicată cu ocazia aniversării a *„175 de ani de învățămînt tehnic superior în limba română"*, prin INCERTRANS — București, 1988.

15. Spirea, E. ș.a. Măsurări de eforturi și deformații în timpul execuției și la darea în funcțiune a podului Borcea. Partea a II-a, În: Revista MTTc, nr. 7, 1988.
16. Teodorescu, C. C. Teoria șinei fără joante supusă variațiunilor de temperatură. București, Editura Academiei R.S.R., 1959.
17. Iliescu, N. ș.a. Cercetări experimentale asupra stării de tensiune în jurul găurilor de eclisare din șine la joantele izolante lipite. Al III-lea Simpozion național de tensometrie cu participare internațională, 1983. În: Revista transporturilor și telecomunicațiilor, nr. 7—8, 1983.

Scanned with OKEN Scanner

19

Scurte informaţii tehnice

• Pentru îmbunătăţirea funcţionării transmisiilor dinţate din tractoare, excavatoare, macarale şi în general, a tuturor angrenajelor greu încărcate se poate folosi lubrifiantul obişnuit cu adaos doar de 1% acid oleic. Rezistenţa la gripare creşte de 1,5 ori, coeficientul de frecare scade cu 20 ... 35% (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 6, 1989).

• Dacă la extruziunea formelor de turnarea ştanţelor, formelor de presare pentru materiale plastice din oţelurile de scule se foloseşte, în loc de încălzirea generală, încălzirea locală prin curent electric numai a zonelor care sînt supuse deformării la extrudare, se obţine o îmbunătăţire considerabilă a calităţii produselor. În afară de aceasta, creşte considerabil rezistenţa sculelor. Încălzirea electrică se efectuează automat după un anumit program individual pentru fiecare gen de piesă şi calitate a oţelului. A apărut posibilitatea folosirii oţelurilor mai dure decît cele care s-au folosit în cadrul tehnologiei vechi (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 6, 1989).

• Prin metoda acţiunii impulsurilor electrice asupra metalului cît timp el se află în stare lichidă la începutul cristalizării se prelucrează masele de metal pînă la 50 t şi mai mult cu consumuri energetice mici în comparaţie cu alte metode. În acest caz rezilienţa creşte cu o treime, scade cu 25 ... 30 K pragul de fragilitate la rece, creşte cu cîteva procente producţia finită bună. Metoda constă în aceea că o descărcare electrică puternică transformă lichidul într-o plasmă densă de temperatură scăzută. Presiunea atinge o valoare colosală, se formează o undă de compresiune puternică, care, prin lama vibratorului, se transmite metalului lichid sau în curs de cristalizare. Vibratorul poate fi apăsat de suprafaţa lingoului în solidificare la turnarea continuă a oţelului, unda de presiune putînd fi transmisă metalului lichid turnat în oală. La topirea în vid, vibratorul serveşte ca fund pe care se încarcă lingoul. (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 6, 1989).

• Dispozitivul pentru deplasarea încărcăturii cu masa pînă la 8 000 t, păşitor-tîrîtor, a fost elaborat în R.D.G. El foloseşte un nou mijloc de propulsie, fiind constituit din trei mijloace de rezemare. Reazemele laterale sînt constituite din mecanisme de rezemare păşitoare, iar cel din mijloc, pe care este situată încărcătura, alunecă pe o pernă de aer, produsă de un compresor puternic. Aceasta a făcut ca instalaţia să fie mai mică de un stat de om. Singurul neajuns al acestui mijloc de transport este că, pentru funcţionarea eficientă a pernei de aer, terenul trebuie să fie absolut neted (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 7, 1989).

Scanned with OKEN Scanner

• Pentru turnarea metalelor neferoase s-a elaborat un robot care imită mișcările operatorului, în sensul că un braț este executat sub formă de jgheab prin care metalul topit este dirijat în lingotiere, iar celălalt preia metalul în timpul deplasării lingotierelor. Robotul înlocuiește un muncitor și îmbunătățește condițiile de muncă (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr.7, 1989).

• Tendința dezvoltării aliajelor de turnătorie și a tehnologiilor. pentru aliajele AlLi, aliaje cu trei și mai mulți componenți. Avantajul lor — înalte caracteristici mecanice la masă mică.

Pentru obținerea unei înalte durități a stratului superficial al aliajelor ușoare, rol important are *durificarea superficială*. Mai întîi ea s-a utilizat în special pentru durificarea aliajelor pe bază de fier, iar acum se semnalează succese în durificarea pieselor din aliaj Ti-6Al-4V cu ioni de azot pentru executarea bioprotezelor. Utilizarea noului procedeu a permis să se crească de sute de ori rezistența la uzare în mediu agresiv a articulațiilor artificiale. În același timp, prin micșorarea coeficientului de frecare de 20 ori s-a crescut rezistența pieselor din polietilenă ultramacromoleculară. Se studiază procesul de bombardare cu ioni a pieselor turnate din aliaje de Al și de Mg (cu ioni de molibden). Se așteaptă utilizarea acestor piese turnate în tehnica aerocosmică și la construcția de nave, dar un factor limitator este gabaritul pieselor.

Cea mai bună variantă de piese ușoare cu proprietăți speciale se consideră utilizarea materialelor compozite cu matrice metalică. S-a stabilit că adaosuri în cantități mici de oxid de Al în aliajul de Mg AZ91 crește rezistența lui la uzare pînă la nivelul aliajelor de cuzineți.

Au stîrnit din nou interes piesele turnate din oțelurile rezistente la coroziune cu ferită (50%) și austenită (50%), deoarece acestea au înalte caracteristici mecanice cu rezistență deosebită la coroziune sub tensiune.

În metalurgia pulberilor interes special prezintă „călirea aliajelor lichide". Procesul constă în dirijarea aliajului lichid pe obada unei roți răcite rapid. Forța centrifugă aruncă instantaneu aliajul răcit sub formă de bandă subțire călită din care se obține pulbere. În S.U.A. a fost construită o secție pe baza acestui procedeu în care se execută magneți permanenți din aliaj Nd-Fe-B. Solidificarea rapidă permite să se obțină aliaje cu structură amorfă, care exclude segregarea elementelor de aliere.

Mai demult mare atenție s-a acordat superaliajelor Fe-Ni, ca cel mai bun material pentru condițiile de încărcare la temperatură pînă la 650°C. Metodele specifice de tratament termic și extrudare la cald izostatică au lărgit limitele de utilizare a pieselor turnate din superaliaje. În viitorul apropiat, concurent direct al acestui material trebuie să devină aluminura de Ni cu mici adaosuri de B. În Europa și Japonia piesele turnate din oțel carbon de construcție sînt înlocuite cu succes de piesele turnate din oțel cu puțin carbon aliate cu mici adaosuri de V și Nb. În S.U.A. se fac cercetări intense pentru crearea unui concurent al oțelurilor microaliate și găsirea metodelor de obținere a pieselor turnate din oțeluri de puritate deosebită. Între acestea se poate denumi procedeul de tratare în oală cu Ca, o variantă a duplex-procesului, retopire sub zgură rafinată cu arc sub vacuum, topirea în cuptoare cu c.c., topirea sub plasmă și folosirea rețelelor de turnare armate cu refractare. (Liteinoe proizvodsva, nr. 10, 1989).

• Noutăți în producția de fontă de înaltă rezistență. La seminarul

Scanned with OKEN Scanner

organizat de firma Packards Mather Co. (S.U.A.) s-au obținut noi date privind cercetarea obținerii fontei cu grafit vermicular.

Cercetările au dovedit, influența pozitivă a sulfului în fonta inițială de la 0,001 la 0,01 asupra măririi numărului de germeni de grafit, scăderea în măsură importantă a tendinței de formare a carburilor și repartizarea mai uniformă a germenilor în structură, ceea ce e legat de acțiunea de germeni a sulfurilor. În prezența ceriului în modificator, limita % S în fontă poate fi chiar mai mare. Conținutul optim de Ce în fontă la care în structură se observă conținutul maxim de germeni e de 0,03—0,04%. La creșterea acestui conținut, Ce licuează la limita cristalelor eutectice, ceea ce crește tendința fontei de a forma carburi.

A ieșit în evidență avantajul procedeului Immold și Flotret la obținerea fontei cu grafit vermicular, stabilind schimbările tehnologice. Pentru control rapid al calității metalului, în prezent se utilizează analiza termică diferențială, care permite să se determine nu numai echivalentul de carbon și conținutul de elemente de bază și impurități în metal, dar să se aprecieze și tendința fontei de a forma goluri de retasuri și porozități. Pentru modelarea condițiilor de cristalizare a pieselor turnate este eficace utilizarea calculatorului (Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1989).

• Glas-proces. Firma Hitchiner Manufacturing Co. a perfecționat procedeul de turnare antigravitațională pentru piesele de mărime mică și medie din metale și aliaje feroase și neferoase. Procedeul constă în introducerea formei — coajă cu partea superioară în topitură, umplerea formei decurgînd de jos, partea ei superioară fiind supusă vacuumului. Utilizarea vacuumului permite să se obțină piese turnate cu pereți subțiri, fără să fie necesară supraîncălzirea și să se obțină volum minim al incluziunilor. Procesul se utilizează pentru piese turnate din fontă, oțel inoxidabil și aliaje de aluminiu cu pereți de grosime ~1 mm. Tehnologia ocupă un loc intermediar între turnarea în forme — coajă și turnarea cu modele fuzibile; se pretează bine la automatizare și la folosirea calculatorului (Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1989)

• Turnarea sub joasă presiune a discurilor de automobil. Utilizarea discurilor de frînă din aluminiu pentru automobil în locul celor de oțel permite să se scadă esențial masa lor, îmbunătățind aspectul exterior, ușurînd evacuarea căldurii la frînarea automobilului. Firma Alcan New Zealand (Noua Zeelandă) execută astfel de discuri prin turnare în forme permanente sub presiune joasă. Pentru aceasta se folosesc aliaje de aluminiu, care conțin 7 . . . 7,5% Si și 0,3% Mg supuse ulterior tratamentului termic (călire de la 500 . . . 540 C) în apă și revenire ulterioară la 130 . . . 180 C). Pentru modificare se utilizează Sr și prealiaj Al — 10% Ti sau Al — 3% Ti — 1% B. Topitura s-a degazat, în cuptor, cu azot. Aliajul se păstrează în creuzet și se introduce în formă, sub presiune printr-un tub. În timpul cristalizării are loc alimentarea constantă cu metal a formei și presiunea scade numai după completa solidificare a piesei. Cercetarea pieselor turnate, care a constat din încercări dinamice la 100 . . .500 mii cicluri cu încărcăre alternantă, determinarea rezilienței, absența defectelor interioare, a arătat înalta lor calitate (Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1989).

• Matrițarea metalului în curs de solidificare (matrițarea lichidă). Pentru executarea discurilor de frînă din aliaje de Al de automobile, firma Hi-Tech Metals R&D Ltd (Anglia) de o serie de ani utilizează matrițarea lichidă. Avantajul procedeului constă în obținerea de piese turnate fără goluri de contracție și de gaze, neutilizînd maselote și rețea de turnare. Utilizarea unui dozaj exact al metalului asigură obținerea unei

Scanned with OKEN Scanner

mase minime a piesei turnate. De ex., pentru turnarea prin acest procedeu a unui aliaj tip silumin (tip LM24), caracteristicile s-au îmbunătățit esențial ($R_{p\,0,2}$=300 MPa, R_m=390 MPa, A_5=5%). În comparație cu turnarea clasică la joasă presiune, acest procedeu are ciclu mai scurt de fabricație, permite obținerea unei mai înalte calități a metalului și o precizie a piesei turnate, ceea ce permite simplificarea construcției roților automobilelor (Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1989).

• Piese turnate din materiale compozite. Firma Dural Aluminiu Composites Corp. a pus la punct și a dezvoltat producția de piese turnate cu matrice de Al, întărită cu particule de SiC. Lingourile din acesta, cu masa de pînă la 45 kg, conțin SiC de la mărime apropiată de zero pînă la 30% volumice.

Din compozit se obțin semifabricate extrudate, forjate, matrițate, piese turnate, table, sîrme. Ca rezistență și duritate specifice, aceste compozite au caracteristici analoage oțelului, aliajelor Al-Li. Prelucrarea prealabilă a particulelor de SiC asigură o adeziune mecanică cu Al fără reacții chimice nefavorabile. Tehnologiile asigură impurificarea minimă a compoziției cu gaze și oxizi. Compozitul concurează piesele de Ti și aliajele lui și materialele grafitoepoxidice (Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1989).

Scanned with OKEN Scanner

TCMM

01000719 300 J-VII

Seria de lucrări TCMM, cu caracter de instruire, informare și documentare pentru un cerc larg de lucrători din principalele ramuri industriale ale economiei naționale, este editată anual în 2–3 volume cu circa 300 pagini fiecare.

In volumele seriei TCMM sînt abordate tematici din mari domenii: date tematici din mari domenii:

- modernizarea producției industriale;
- concepte și strategii în promovarea progresului tehnic;
- calitate, fiabilitate, mentenabilitate;
- mașini, utilaje, echipamente, aparatură, SDV-uri;
- tehnologii moderne și de mare eficiență economică;
- interdisciplinaritate, note tehnico-documentare;
- cataloage de produse industriale.

La această publicație, dată fiind importanța pe care o prezintă lucrările seriei pentru rezolvarea problemelor retehnologizării întreprinderilor și producției industriale, abordînd tematici în strînsă legătură cu aceasta, este necesară rezervarea din timp a unor volume (fără avansarea prealabilă de fonduri bănești). Pentru aceasta trebuie să trimiteți din timp (cu cîteva luni înainte de apariția volumului respectiv) comenzile dv. cu caracter ferm (cu indicarea contului de virament pentru întreprinderi, institute de cercetare și proiectare, șantiere și instituții, respectiv adresa exactă, pentru cititori) Centrului de Difuzare al Editurii Tehnice, str. Oteteleșanu nr. 1, Sector 1, telefon 15-88-66, București.

EDITURA TEHNICĂ

Serie continuă de **studii și cercetări aplicative, sinteze documentare, actualități și materiale informative** consacrate progresului tehnic contemporan din domeniile ingineriei tehnologice, retehnologizării și dezvoltării industriei, calității produselor, materialelor, mașinilor, utilajelor, echipamentelor, aparaturii și SDV-urilor.

7

ISBN 973-31-0240-7

Lei 86

Scanned with OKEN Scanner